

図-27 水循環モデルの検証例（筑後川流域、本川下流端流量 昭和50年）

最後に、各水循環モデルを用いてシミュレーションを行う際の入・出力要素、及びモデル作成に用いた主な資料の一覧を表-16に示す。なお、水循環モデルの検証は河川流量や地下水位を用いて行われることが多い。図-27にはその一例を示す。また、いくつかの水循環モデルについては、参考資料の水循環と水利用に関するケース・スタディにおいて紹介することにする。

2.4.4 ま と め

以上、水循環モデルが有すべき要件を列挙し、本研究会において検討した水循環モデルの概要を紹介した。これらの水循環モデルの適用可能性と今後の問題点として次のような事項を挙げる事ができる。

(1) 今回の作業により、流域の水循環機構をある程度表現することが可能となり、水資源計画の検討に当たっての基礎的な情報を得るための一つの道具となり得るモデルの概形ができあがったと考える。すなわち、流域内における人為的操作が水循環に及ぼす影響を概略的に把握することが可能となったといえよう。しかし、日々の流水管理にこれらの水循環モデルを適用するに当たっては、水の移動・滞留に伴う時間遅れや非線形性などの的確な表現をはじめ、モデルの精度のより一層の向上を図る必要がある。このためには、水循環モデルの改善のみならず、各水循環要素及びそれらの相互関係についてより綿密な調査・分析を進めなければならない。

特に、農業用水並びに都市用水の還元機構は、流域の水利用と水循環とを結ぶかけ橋であり、その把握及び取扱い方法についてはより十分な検討が必要である。

(2) 水量と併せて水質（汚濁負荷量）の循環をも考慮した水循環モデルも、2、3検討された。しかし、水質の取扱いは極めて簡略的なものであり、用水あるいは河川水の汚濁あるいは浄化機構を考慮していない。今後は、非点源汚染の追跡方法などをも含めて河川水質の変化を表現するサブモデルを水循環モデルにどのように組込んでいくかが重要な課題となる。

(3) 流域の水循環機構に立脚した適正な水資源管理方法を求める手法（方法論）については、適正水利用計画 W. G. においていくつかの検討が進められた。しかし、これらは、流域の年間スケールの水収支関係に基づいた適正水利用計画について分析を加えたものが多い。日あるいは半旬という比較的短い時間スケールで流域の水循環の変動を表現できる水循環モデルに、目的関数を組合わせて、適正な水管理方法を導き出せるようなモデルの開発は、今後の課題の一つとなろう。

(4) 水循環モデルの精度向上に当たっては、水文諸量の精度の高い把握が不可欠である。このためには、流域の自然水及び用水循環特性に応じた観測網の面的な整備を図る必要がある。用水の取水量並びに河川への排水量はできる限り直接的に観測できるようにすると共に、河川流量についても、水循環モデルの中で各種の水循環要素間の水の移動が集中する地点（例えば、支川合流点、用水還元最下流地点）などにおいては、重点的な観測を行うことが望まれる。このように、水循環モデルを作成するに当たって得られた知見は、水循環の観測網の整備を検討するに当たって有効な示唆を提供するものと考えられる。

表-16 水循環モデルの入出力

対象河川	石狩川	最上川	信濃川	淀川	佐波川	重信川	筑後川	
入	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 取水量(水利権量) ○ 汚濁負荷量 ○ ダム放流量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降水量 ○ 気温 ○ 蒸発量 ○ 河川取水量 ○ 地下水揚水量 ○ 導水量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降水量 ○ 本川上流端流量 ○ 気温 ○ 蒸発散量 ○ 用水需要量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨流出量 ○ 導水量 ○ 用水需要量(総人口などからなる構造型で推定) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 蒸発散量 ○ 農水取水量 ○ 地下水流量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 蒸発散量 ○ 導水量 ○ 取水量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 蒸発散量 ○ 本川上流端流量 ○ 用水需要量 ○ 地下水揚水量 	
出	<ul style="list-style-type: none"> ○ 河川流量 ○ 河川水質 ○ ダム貯留量 ○ 水田貯留量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 河川流量 ○ 地下水流出量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基準地点流量 ○ 要素間の水の移動量 ○ 河川水質 ○ 不足水量(不足%日) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 要素間の水の移動量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基準地点流量 ○ 地下水流動量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 流出・浸透などブロック間の水移動量 ○ 貯留高 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 各要素間・流域間の水の移動量 ○ 基準地点流量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量(6地点、S50~53) ○ 蒸発散量(18カ所)~53) ○ 農業用水取水量(実測及び水利権量) ○ 工業用水(原単位より) ○ 地下水(S50実態調査)
モデル作成に当って用いた主な資料・データ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨資料 ○ 施設資料 ○ 水利権量 ○ ダム放流量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 山形県土地分類図 ○ 降水量(32地点S48~50) ○ 気温(12地点) ○ 蒸発量(18カ所) ○ 流量(12地点S48~50) ○ 河川取水量(最上川流域主要水系調査) ○ 地下水揚水量(地下水取水台帳) ○ 地下水資料(地下水利用適正化調査) ○ 農水還元量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 流量 ○ 降水量 ○ 気温 ○ 地回図 ○ 蒸発散量 ○ 減水深 ○ 水利権量 ○ かんがい面積 ○ 工業統計 ○ 給水人口、給水量 ○ 地下水揚水量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 河川流量 ○ ダム放流量 ○ 使用水量 ○ 下水処理量 ○ 導水量 ○ 降雨量 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 気温 ○ 流量(4地点) ○ ダム流入量・放流量 ○ 地下水流量(推定) ○ 低水時の減水特性 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量(S50~52) ○ 流量(S50~52) ○ 蒸発量(S50~52) ○ 取水量(S50、突感調査) ○ 河川浸透量(S41、48同時流量観測) ○ 導水量(S50) ○ 地下水(地質調査地下水記録S50) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量(6地点、S50~53) ○ 蒸発散量(18カ所)~53) ○ 農業用水取水量(実測及び水利権量) ○ 工業用水(原単位より) ○ 地下水(S50実態調査) 	
参考資料	<ul style="list-style-type: none"> ○ 資料のみ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 最上川水収支検討業務報告書(S55.3) ○ 山形地区地下水調査報告書(S55.3)(共に山形工局) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 信濃川中流部水循環機構解析業務報告書(S54.2、S55.2) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 淀川水系水循環機構解析検討業務報告書(S54.2、S55.2) ○ 佐波川地下水調査業務報告書(S53.3) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 佐波川総合水管理調査報告書(S54.3) ○ 佐波川地下水調査業務報告書(S53.3) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 重信川地下水管理に関する調査報告書(S53.54) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 筑後川水循環機構解析報告書(S52.10) ○ 筑後川水収支検討報告書(S53.3) ○ 筑後川水循環機構解析検討報告書(S55.3) 	

3. 水利用に関する研究

3.1 概 要

近年、複雑化していく水資源の開発と利用環境の中で、水資源の開発と利用を従来の固定的観念を離れて普遍的に定義するとすれば、「水資源の開発とは循環過程にある種々の態様の水を人間の生存活動に利用する行為の拡大である。」ということができる。つまり、一定水準以上の人間の生存活動を維持していくために必要な質と量の水を、必要な時期に供給できる水循環システムを、限られた条件の中で創造することが、水資源開発の基本課

題であるということができる。また、同様な観点から人間の社会経済活動と不確定的な水文現象の媒体となるものが、ダムなどの水資源開発施設であり、また水利権などの社会的な規範であるということもできる。

以上のような点から、水資源の開発と利用の特徴をもう少し具体的に整理すると次のようなことがいえる。

① 水資源の評価は、水の流れの物理的本質に基づいて行う必要がある。

② 一定量の水資源を開発しようとした場合、与えられた供給必要量に対して複数の代替開発施設案が考えられる。

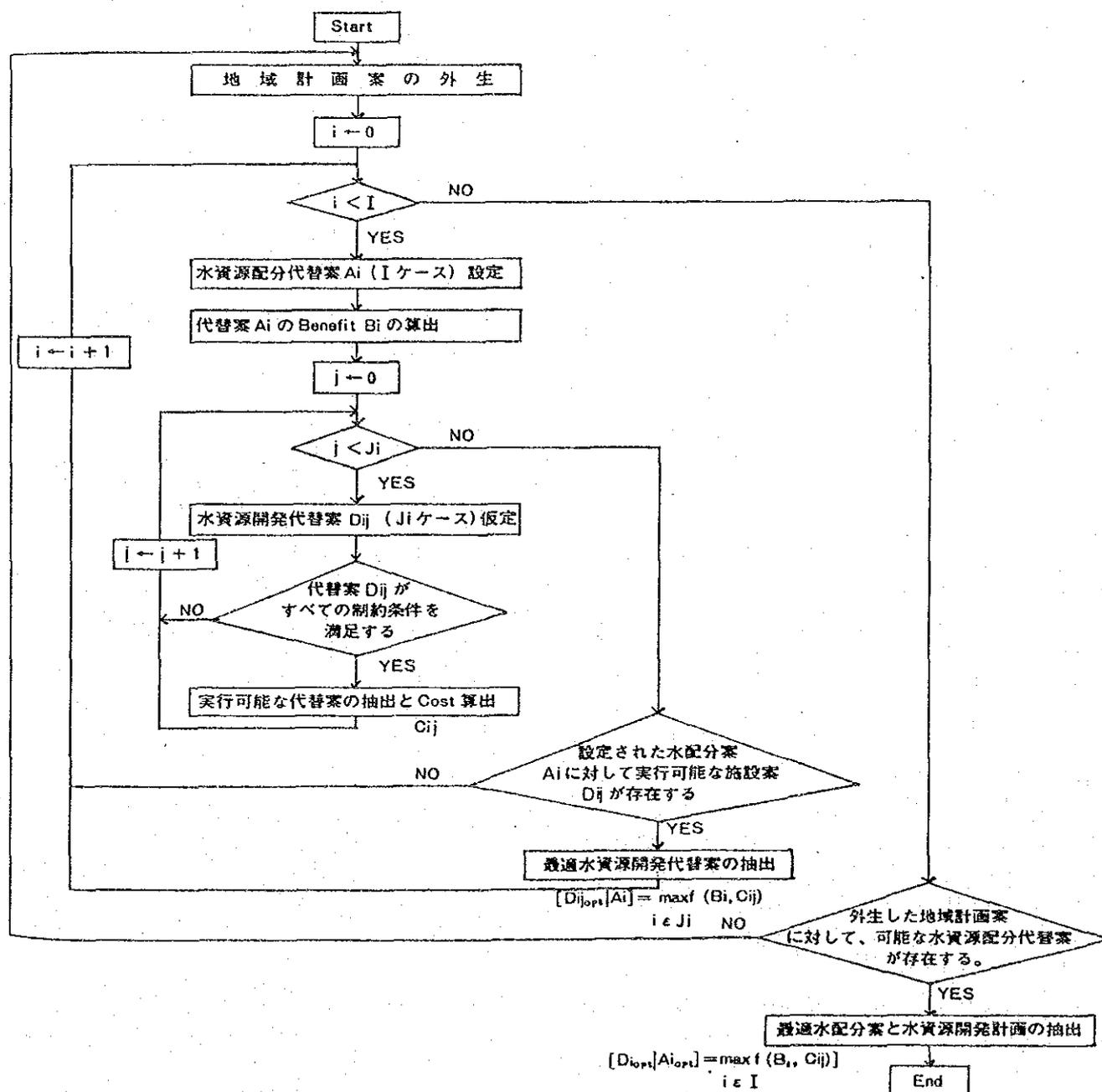


図-28 流域の諸量を有限とした場合の水資源計画検討フロー

③ 一定量の水資源を供給しようとした場合、与えられた供給必要量に対して種々の水資源配分の代替案が考えられる。

④ ②、③の代替案は、水資源開発地域の限られた制約を満足し、水供給地域のその時代の価値観の中で評価される必要がある。

⑤ 水資源の開発とは、不確定的水文現象と、一方これとはほとんど無関係な社会経済活動とを結びつける媒体（ハード的あるいはソフト的）を整備することである。したがって、これらの両者の調整は一定の安全度水準の上に成立つものということができる。

以上のような特質を踏まえて、適正な水利用計画の立案についてそのフローを表示すれば図-28の通りである。図-28は、仮に一つの地域計画案が外生された場合、複数の水資源配分案と、各々の水資源配分案に対して考えられた複数の水資源開発施設代替案に関する最適な組み合わせを検討するフローである。このような検討フローの中で、

① 水の循環という水の物理的本質に基づき、どのような施設でどの程度の水利用を可能とし、また、そのために必要な費用その他犠牲とすべきものがどの程度であるか。

② 開発された水は、どのような目的でどのような方法で利用されたのが妥当であるか。

③ このような検討を実施するためには、どのような方法論に基づき、またどのような手段が有効であるかを考察し、さらに現地適用を試行する。等々が最適化基準あるいは適正水利用計画各 W. G. の主要な検討課題である。

一方、これまでの議論は、水利用の歴史的過程の中の現時点における一断面を見たにすぎないということができる。つまり、水資源の開発と水利用における特質を、その時代の価値観あるいは流域の諸容量に対する影響度合いといった観点から眺めた場合、次のような点を指摘することができる。

水資源の開発と利用を歴史的に見た場合、当初の水資源開発と水利用は、河川の流量・水質・地下水の限界揚水量等々の流域容量を無限のものと見なして、この中でいかに経済的に効率的な水資源の開発と利用を達成し得るか、といった観点から考察されてきたものと思われる。したがって評価対象となるプロジェクトは、ある目的（水需要量に見合った用水を供給する）を達成するために必要な表流水に関する制約を回避するための施設建設費と、一方では全国一律の目的別原水コストに基づく便益との相互関連において評価がなされてきたといえる。つまり、一定の外生された、または規定の便益の確保を最小費用で達成する代替案の選択が、当初の水資源開発計画評価における基本課題であったといえる（図-29参照）。

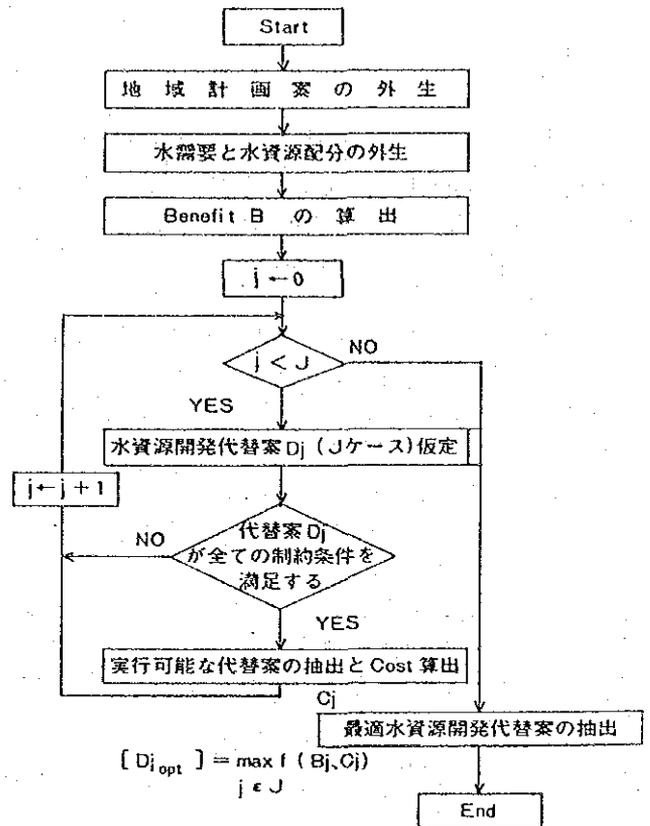


図-29 流域の諸量を無限とした場合の水資源計画検討フロー

しかしながら、水の利用量の増大に伴い、流域の諸容量が相対的に有限化する中で、種々の新たな課題が発生してきた。このような観点から、現況における水資源開発と水利用を眺めた場合、新たな課題としては、

- ① 新規開発用水の配分のあり方
- ② 既得用水の再配分のあり方、あるいは遊休水利の合理化などの水利用の効率化（Benefitの増大）といった側面からの課題と、
 - ① 河川水質問題の顕在化
 - ② 上下流諸問題の顕在化
 - ③ その他種々の制約条件（利水安定度環境問題等々）の顕在化

等々のこれまでの流域の諸容量が無限であるという立場からは無視することができた種々の現象が、無視し得なくなったことによる諸問題の発生という二つのタイプの課題がある。このように水資源問題は河川の水利用率と共にその課題内容が変化していくものであり、また今日の水利用も現時点よりさらに低い水利用率の時代を経過して現在に至ったものとするれば、過去の水利用実態を踏まえた水利用規範の上で今後の水問題を考えていく必要がある。すなわち、われわれがこれからの水問題を今後の水資源開発と利用を考えて行く場合には、常に既往水利用体系との整合に留意しつつ考察する必要がある。

3.2 適正な水利用計画の立案・評価に関する研究

3.2.1 はじめに

流域における水利用の拡大は、これまで無限のものとして受けとめられてきた水資源を相対的に有限なものへと化し、その結果、水資源をめぐる種々の問題が顕在化してきている。今後、流域の社会・経済活動の健全な発展を支えるための水資源の開発とその利用を計画するには、水資源問題を取りまく、社会・行政上の制約、さらには資源、エネルギー制約といった多数の錯綜する制約の下で水の循環実態、水の利用実態を踏まえた適正な水資源計画とは如何にあるべきかについて検討することが第1の課題といえる。

ところで、水資源問題はこれまで水需要と供給の調整に主眼が置かれていたが、最近の水利用形態の高度化と多様化は、社会・経済活動様式を益々渇水に弱い体質へと変化させている。一方、河川の利用率の増大は限られた河川流量を多数の利水者に配分する必要性が生じ、そのため、異常渇水時には一利水者当りの取水制限率は益々厳しいものとなる傾向にある。このような要因が重なりあい、渇水はいまや大きな社会問題となりつつある。

このように考えると、水資源問題において、渇水時における「安定的水利用と供給の達成」は、「水需要と供給

の調整」に相対する計画課題として位置づけられる。このような観点から水資源問題における種々な計画課題のハイアラーキを示したものが表-17である。

本節では、これら水資源問題のうち、

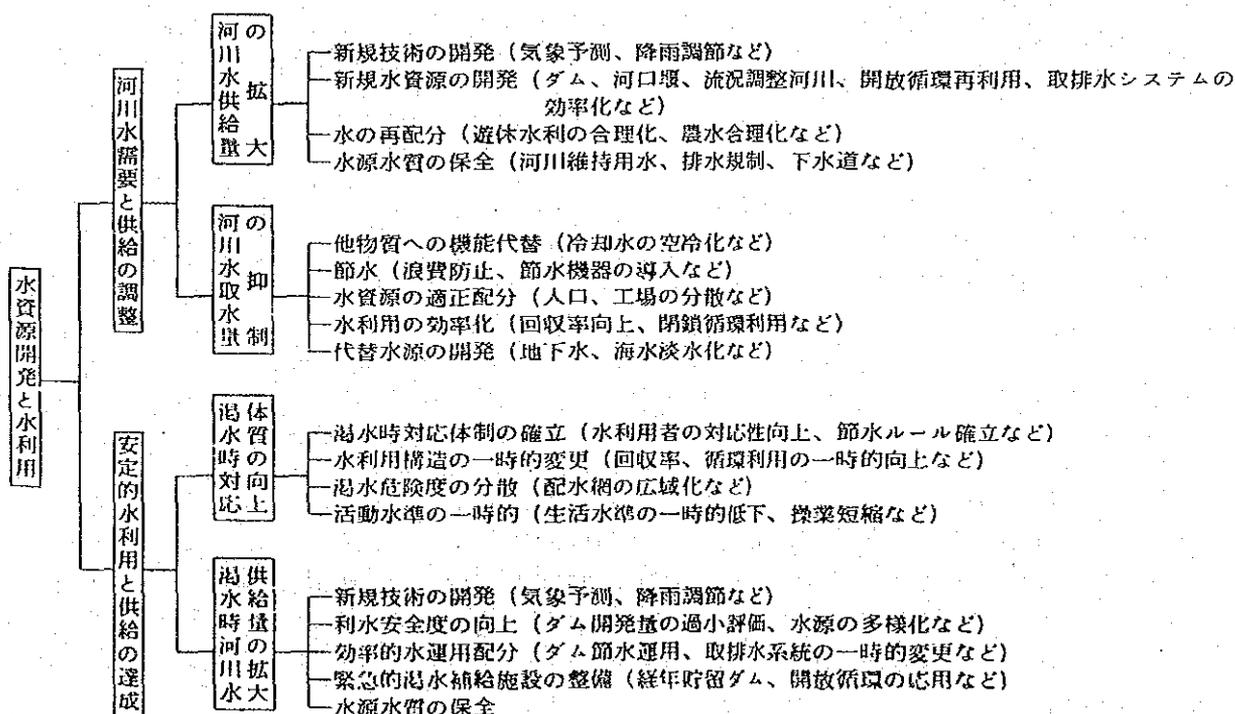
- ① 流域の自然水、既往水利用体系との調和を図りつつ水の循環実態を反映した効率的な水資源開発のあり方
- ② 流域の限られた貴重な水資源を最も効率的に使用するための水資源配分のあり方
- ③ 水文量の不確実性に鑑み、発生する渇水に対しての対応方針のあり方

といった三つの課題に対して、主として評価システム、評価項目、評価基準という視点から検討を行うものである。

3.2.2 流域水循環を踏まえた水資源開発代替案の検討

現在の水資源開発計画は、一般的には一過性の水利用形態を前提として立案されている。すなわち、上流域での利用廃水を河川へ還元した後、下流の利用者によって再び取水・利用されるという河川水の開放循環利用は原則として考慮されていない。河川の流量に比べて上流域での水利用量が小さな段階では、還元量を無視しても、河川水の量と質においてそれほど問題とはならなかった。しかしながら、水利用量が著しく増大している今日、こ

表-17 水資源開発と水利用体系における計画課題のハイアラーキ



注) 1. 本体系では、河川取水口における需要、供給ベースで整理している。したがって地下水など河川水以外の水源は、河川水需要の抑制要因として整理した。
 2. 代替案の全てが、直接的あるいは間接的に水循環システムの中で、有機的に連携しているものである。

れら還元水が下流部の水量、水質を初めとする流況構成要素として大きな比重を占めており、その如何が水資源開発における施設規模、利水安全度などに及ぼす影響は大きい。そのため、これからの水資源開発に当っては、流域の水循環と水利用実態を踏まえ、かつ流域の健全な発展を促進するよう、合理的な計画の立案がなされる必要がある。

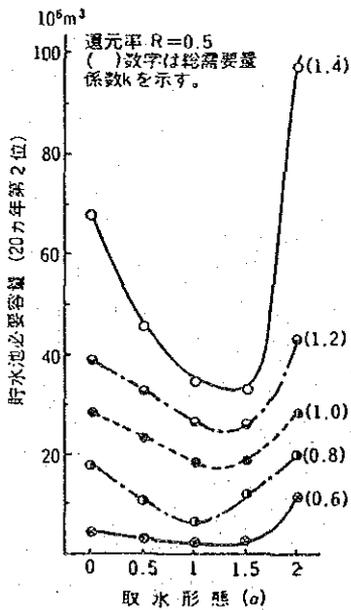
(1) 水利用可能量の評価

水資源開発を計画するに当って、先ず当該施設に基づき、どの程度の水利用可能量の増加が期待できるか、あるいは、与件とされる水利用量の増分を賄うには、どの程度の規模の施設が必要であるかといった水利用とこれを可能とする施設規模との関係を明らかにしておく必要がある。前述したように、流域の水資源諸量が水利用に比べて十分に大きい場合には、これらの関係を分析するには、一過性の水利用を前提としての考察が可能であった。すなわち、このような段階においては、利用可能量 Q_0 は、水資源開発施設規模を V 、水供給安全度を F とした場合、

$$Q_0 = f(V, F) \dots\dots\dots (4)$$

なる関係として捉えることができた。

しかしながら、水利用の増大に伴う水資源諸量の有限化は、水質問題、渇水現象にみられるように利水の安全度への影響を初めとする種々のひずみを顕在化することとなった。この段階に及んで新たに水資源の開発を行うには、流域の水循環と水利用実態に即した、水量の確保並びに水質の維持・改善についての十分な検討が必要となってきた。



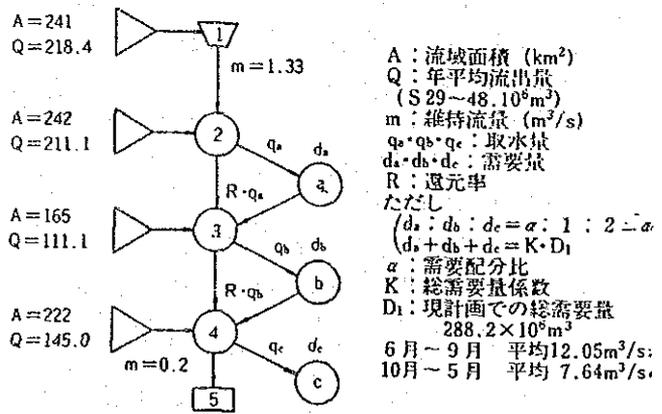
(a) 取水形態 α による相違

1) 還元水の機能を考慮した河川水利用の高度化
水資源開発において、同一安全度を保つために必要な貯水池の規模と総取水利用量との関係は流域内の水利用形態によって異なる。いま、流域の水利用形態（取排水形態）を示す α 、取水された河川水の当該河川への還元率を R として表現すると前掲の式(4)に示す総取水利用量 Q_0 は、

$$Q_0 = f(V, F, \alpha, R) \dots\dots\dots (5)$$

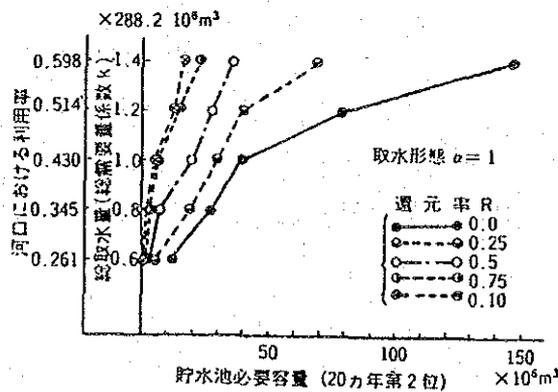
として捉えることができる。

ところで、図-30のようなモデル流域における検討結果によれば、図-31に示すように、式(4)では V と F を定めれば、 Q_0 は一意的に求まるのに対し、式(5)は V と F の値を定めても α と R の値によって Q_0 は一意的には定まらない。



▷ダム流域あるいは残流域 a, b, cは水利用地区 (1,2,3,4,5)は河道を示し、□:ダム貯水池 ④:河口 ⑤:海洋である。
(α, K, R をパラメータとしてケース・スタディを行う。)

図-30 モデル流域図



(b) 還元率 R をパラメータとして

図-31 総取水利用量と貯水池必要容量との関係

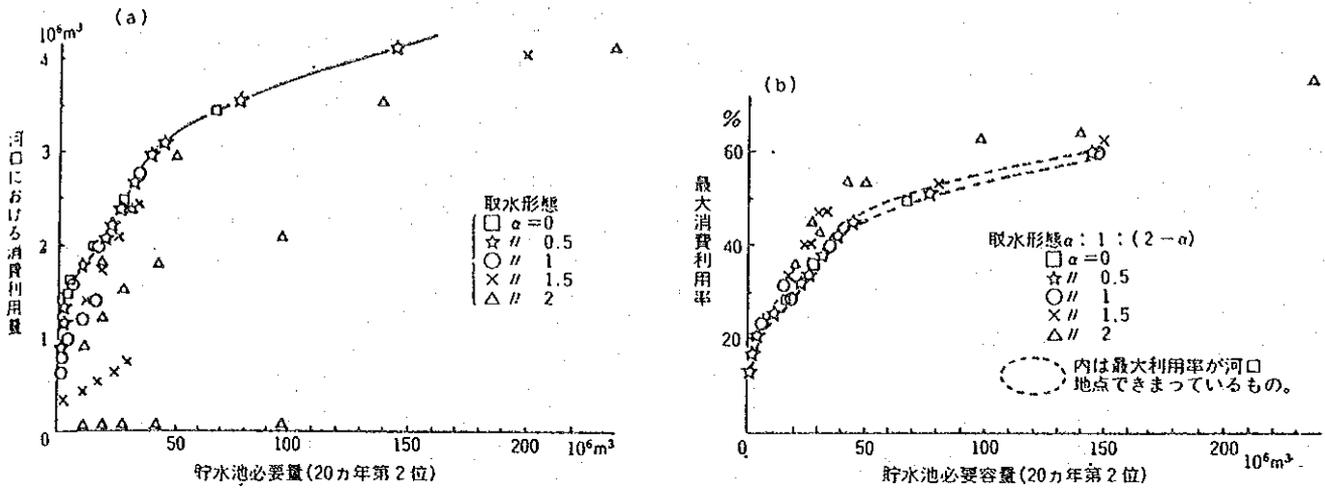


図-32 消費利用量と貯水池規模との関係

しかしながら、ここで総取水利用量 Q_0 を河口での消費利用量 Q_c (総取水量 - 総還元量) と定義すると図-32に示すように Q_c と貯水池必要容量との関係は、還元率 R に余り影響されずに比較的に高い相関関係が認められる。また、河口での消費利用量 Q_c と総取水利用量 Q_0 の関係は還元率 R によって関係づけられるとすると、式(5)の関係をモデル表記すると図-33のように表わされる。図-33について少し補足すると次のようである。すなわち、貯水池規模を固定(例えば V_1) した場合には、還元量の変化に伴う安全度と総取水利用量との関係については、次の二つの見方が可能であろう。

① 一つは利用安全度の変化である。すなわち、総取水利用量を W_1 に保つと、還元率が0%から50%へと変化するに伴い、貯水池規模 V_1 の安全度は f_1 から f_2 に向かう。管理段階で現実に還元水があるとすれば、計画時に想定した安全度 f_1 に対して、実際には f_2 の安全度で貯水池の運用が行われていることになる。

② 他の見方は、計画上の利水安全度を一定とした時の総取水利用可能量の変化である。貯水池規模 V_1 の安全度を f_1 とすれば、総取水利用可能量は W_1 ($R=0.0$) から W_2 ($R=0.5$) へと変化する。

このように、水循環に基づく水資源管理は、水資源開発の施設規模、施設運用の安全度の向上に有効な手掛りを与えてくれるが、その実現化に際しては、計画上意図される取排水機構及び還元率が、図-33の関係を安全側で満足するような形で実現されるという保証がなされる必要がある。

2) 河川水利用の高度化と河川水質管理

以上のように還元水の機能を考慮した河川水利用の高度化は、反面において河川水質に多大な影響を与える。この場合、河川への排水水質を b とすれば、河川水質 B は、

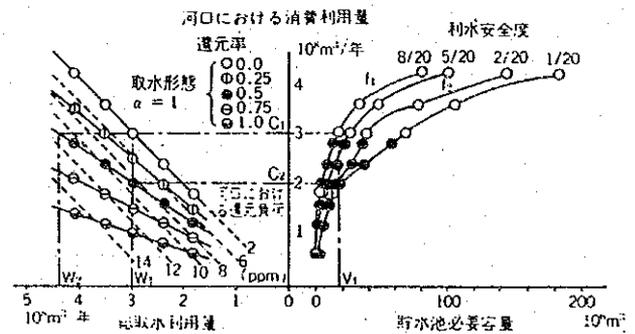


図-33 水資源管理における還元水の機能の概念図

$$B = f(\alpha, R, Q_0, b) \dots\dots\dots(6)$$

として表現することが可能であり、図-33にも併記されているように還元率を50%とすると、総取水利用量の W_1 及び W_2 に対して、河口における還元負荷(還元水による河川水質の変化を意味する)は各々9ppm、11ppm(注)となり、還元水が存在しない時よりかなり悪化することになる。このような還元負荷に対処する手段として、水利用サイドにおいては処理基準の向上が考えられ、一方、河川サイドとしては河川維持流量を増大させることが考えられる。前者については、図-32における還元負荷が等しい点を結んだ曲線を左方へ移動させる行為として表現でき、また、後者は新たに維持用水確保のための貯水容量の確保として認識できる。

注) 水質計算は、降雨流出水及び還元水の水質を、各々2ppm、20ppm(BOD)と仮定し、半旬単位で1年間の利水計算を行い、超過確率25%の河川水質をもって還元負荷と定義している。

以上のような機能をもつ還元水を水資源の開発計画に反映するに当たっては、以下の点に留意する必要があると思われる。

① 計画上、還元水を考慮しない形での水資源開発では、量的にみて、現実的に還元水が存在する場合、施設管理段階の安全度は、計画で意図した安全度よりも高くなり、この程度は、流域の水利用形態、特に還元機構に支配される。一方、質的側面からみると、還元水を考慮した計画は還元負荷に伴う河川水質の悪化が予想され、それを防ぐための利用者サイド及び河川サイドの対策に費用がかかる。このように両者の間には量的メリットと質的メリットにおいてトレードオフの関係が存在するが、その選択には量・質両面における安全度指標の詮索と、その安全度水準の吟味を十分に行う必要がある。

② 還元水は、使用された用途によって、その水質は異なり、河川水質環境に与える影響も変化する。そのため、還元水を考慮した水資源開発を実現していくには、河川水質の改善が前提となり、その対応策として、貯水池による維持流量の増加と排水処理規準の向上という二つの方向が考えられ、それらを効果的に組合わせていく必要があると考えられる。

(2) 代替案の抽出

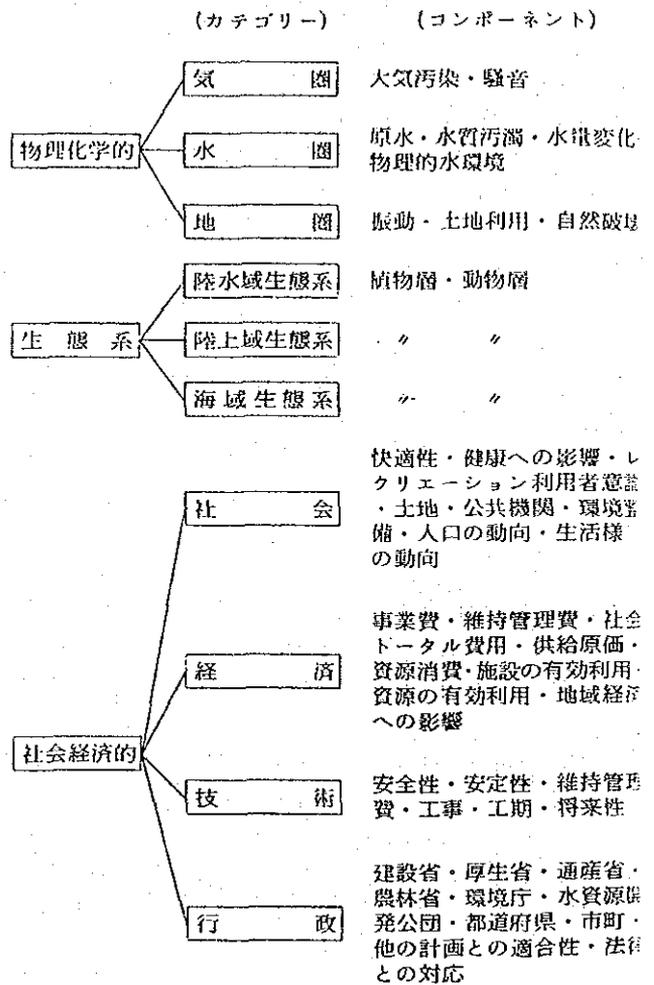
還元水の機能を考慮した水資源開発による水利用合理化の特質について量・質両面から定性的な分析を(1)において行ってきた。このような観点から、水資源の開発及びその利用の最適化を図るには、取水形態 α 、還元率 R 、及び排水水質 b を制御し得る手段及び制度的な措置がなされねばならない。このような手段及び制度的な措置は複数存在し、個々の手段や制度的措置に関する考察は、これまでもなされてはいるが、河川の利用率が高度化した今日において各パラメータを操作し、水資源の開発とその利用の最適化を計画するには単一手段で臨むことは不可能な状態となりつつある。そのため、複数手段の組合わせ系列として各種代替案を作成し、各代替案に要する費用(広い意味でのコストであり、計量不可能な要素も含まれる)を最小とするような第1段階的最適化を図っていく必要がある。

本稿では、水資源開発を図-33に示す河口における消費利用量 Q_c 、及び総取水利用量 Q_t を増大させるような手段として捉えることとする。したがって、取水、還元を支配する取排水システムの調整及び水質の管理などについても、従来のダム、導水路、河口堰など同様に水資源開発の代替案として取扱うことにする。このように考えると表-18に示した「河川水供給量の拡大」を可能とする現況技術水準に基づく手段が水資源開発計画代替案を構成する手段に相当するものといえよう。

このような、代替案の実施に際しては、事業費以外の種々の要因を考慮する必要がある。本研究会では、以上のような観点から評価項目と評価のあり方について検討を行った。

水資源開発計画代替案の総合評価手法の考え方を述べ

表-18 評価項目分類の概略



ると図-34の通りで、影響度予測システムと総合評価システムに分けられる。

1) 評価項目

評価項目は評価の立場(主体)によっても異なるし、評価の範囲にも依存する。そのため、評価の対象とする水資源開発代替案のもつ、物理的、社会的意義を分析することにより適当な項目を選定する必要がある。

前述したように、水資源開発を「河川水供給量の拡大」に寄与する種々の行為集合とみなすと、水資源開発に係わる要件として以下のように考えられる。

- ① 気圏に悪いインパクトを与えない。
- ② 良好な水環境が保持できること。
- ③ 地圏へのインパクトが少ない。
- ④ 陸水域生態系へのインパクトが少ない。
- ⑤ 陸上域生態系へのインパクトが少ない。
- ⑥ 海域生態系へのインパクトが少ない。
- ⑦ 住民の快適な生活を保証する。
- ⑧ 経済的にみて合理的であること。
- ⑨ 技術的に実行可能であること。
- ⑩ 行政面での摩擦が少なく実行可能であること。

これら、水資源開発に係わる要件の充足度を評価する項目として、一般的には表-18に示すように整理することができよう。本稿における水資源開発代替案評価項目は、表-18に集約されているといえよう。そして、実際の評価を行うに当たっては、これら評価項目のうち、どのような項目を選択し、それらをどのような指標で説明するかを決める必要があるが、その際、次の事項に注意する必要がある。

① 設定している計画代替案の全分野に関連した評価指標であること。

② 評価項目間に重複がないこと。

③ かつ評価項目はなるべく少ないこと。

2) 総合評価システム

各種代替案に対応して、1) で設定した評価項目について、それぞれの評価値を算出するが、その際、評価主体によって評価値が異なる可能性があるため、評価は往々にして各評価項目ごとの評価値の算出で止められ、その後は意思決定者にゆだねられる場合が多いが、総合評価の一つのあり方として、算出された各評価項目の評価値に項目間ウェイトを乗じるといふ図-35に示すような手法が一般的である。

以上、評価項目、及び総合評価手法の概略について検討を行ってきた。その詳細については3.2.3で後述するが、評価に臨む基本的姿勢として、①どのような立場で、②何を評価するかといった評価の過程とその目標を明確にすることが重要である。

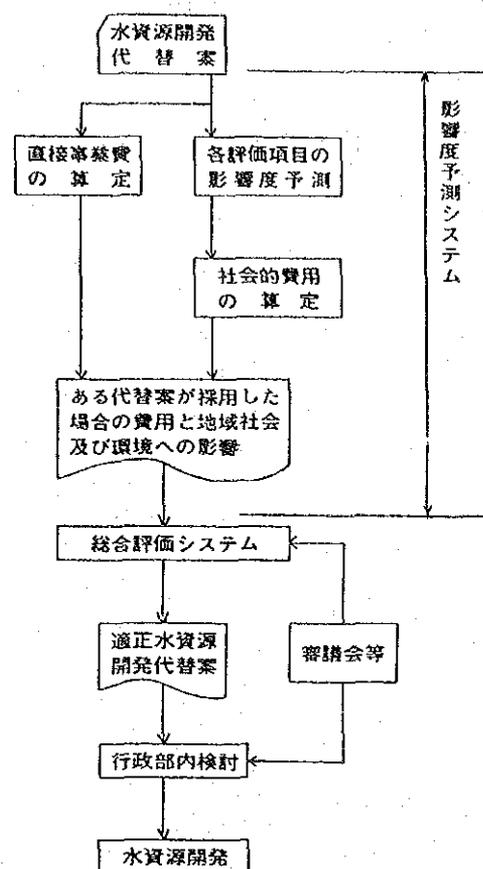


図-34 総合評価手法の構造

評価項目	代 替 案 1					代 替 案 2		
	事業実施の影響度		評 価					
	影響度	社会的費用	項目間ウェイト	評 点	ウェイト付評点			
直接事業費	-							
A								
B								
C		×						
D		×						
K								
合 計	-	社会トータル費用	100	-		総合評点		

×印は社会的費用を算定できない評価項目

図-35 取排水システム選定のための総合評点システムの概念

3.2.3 水資源配分に関する評価

流域の水需要量が増大し、供給可能量が限界に近づいた場合、当然のことながら、工業用水であれば回収率の向上などの閉鎖循環利用の促進、節水などあらゆる形での水利利用の合理化が必要者サイドで図られ、結果的にみると河川水取水ベースでの単位流量当りの価値が向上したことから捉えられる。つまり、限られた開発水量において、便益（広い意味での Benefit であり、計量不可能な要素も含まれる）の最大となるような水使用方法の達成が、適正水利用計画において、費用最小を目標とした水資源開発と相対する計画目標といえる。そして、その方向として

- ① 単位水量当りの価値を高めるための節水（浪費の防止）
 - ② 便益が最大となるような地域間の水配分
 - ③ 便益が最大となるような用途間の水配分
- などが考えられる。

また、これらの方向に対して

- ① 新規開発用水の配分
- ② 遊休水利の合理化再配分
- ③ 水需要原単位の見直し

などが現実の行政的対応策として考えられる。

本稿では、このような現実の行政的対応のなかで、どのような方向と方法論に基づき、適正な水利用計画を追求すべきかについて考察していくことにする。

適正な水資源の配分・利用計画の立案に至るプロセスは、一般に次のように表わすことができよう。

- 1) 計画目標すなわち水資源の配分・利用における適正概念の明確化と評価項目の設定。
- 2) 計画代替案の抽出とその属性（評価指標値）の表示（代替案の予備の評価）
 - ① 代替案の抽出
 - ② 代替案の属性の表示
- 3) 総合評価
- 4) 意思決定（代替案の最終評価）

(1) 水資源の配分・利用における適正概念の明確化と評価項目の選定

水資源配分における適正とは、「一つの流域あるいは利水圏に住む人々の生活向上、あるいは生活環境の改善に、最も貢献し得る配分」と定義する。この適正水配分をいまいし具体的に述べると、

- ① 良好な自然環境の保持
 - ② 住みよい生活環境の創造
 - ③ 活発な経済活動の育成とその地域的均衡化
- といった諸要件（目標）の充足度を
- ④ 新規投資の縮小
 - ⑤ 他の社会システム・法行政との摩擦の縮小
 - ⑥ 資源の有効利用の促進

などの制約条件のもとで、最大化することといえよう。そして、このような観点から提案される各種水資源配分代替案のもつ適正度をどのような項目でもって計測するか、すなわち評価項目の検討を以下に行う。

評価問題において、一般に評価は、要件充足性、事実対応性、実行可能性の3側面から行われる。

1) 要件充足性：計画は目的達成のための機能集合と考えることができる。計画のもつ機能は下記のように区分することができる。

- ① 顕在的機能：計画客体（計画の受け手）にとって寄与的な諸結果をもたらすもののうち、計画主体が意図した目的に対応するもので一般的に主効果と呼ばれる。
- ② 潜在的機能：計画客体にとって寄与的な諸結果をもたらすが、計画主体の意図した目的には対応されないもので、一般に誘発効果と呼ばれているもの。
- ③ 逆機能：計画主体の意図した目的に対応させることができず、計画客体にとって非寄与的影響をもたらすもの。

計画を評価する場合、上記①、②の機能の達成度と③の軽減度でもって一般になされる。

2) 事実対応性：計画を立案していく場合、往々にして仮説、仮定を設ける場合がある。計画はこれらの条件の下で立案されているが、この仮説、仮定の確からしさが重要な問題となっており、これらが現実と大きくかけ離れると計画は空論となる。

3) 実行可能性：計画の実現性の確からしさを示すもので、前記の要件充足性、事実対応性の如何も実行可能性を大きく左右する要素となってくるが、この他にも、技術的制約、法・行政的制約などの計画のもつ機能とは別に計画実現の可能性の大小を示すものとする。

以上の観点から、水資源配分の適正度評価項目とその指標について検討したものが図-36である。

(2) 計画代替案の抽出とその属性の表示

前述した評価項目に基づいて、水資源の配分、利用計画の代替案の抽出とその評価が試みられる。しかし、あらゆる計画代替案をこのように数多くの評価項目の下で同時に評価し、その中から一つの最適な代替案を決定することは不可能である。

そのため、図-36に示した評価項目の中から代表的な項目を用いて計画代替案の抽出を行い、抽出された各代替案のもつ属性を分析・予測し、総合評価を行うといった図-37に示すようなプロセスに従う必要がある。

1) 代替案の抽出

このようなプロセスにおいて、評価項目は次のように分類されよう。

① 目標指標：当該計画案によってできるだけ達成あるいは改善を目的とする指標で前提の要件充足性、なかでも顕在的機能を表わす評価項目が相当する。

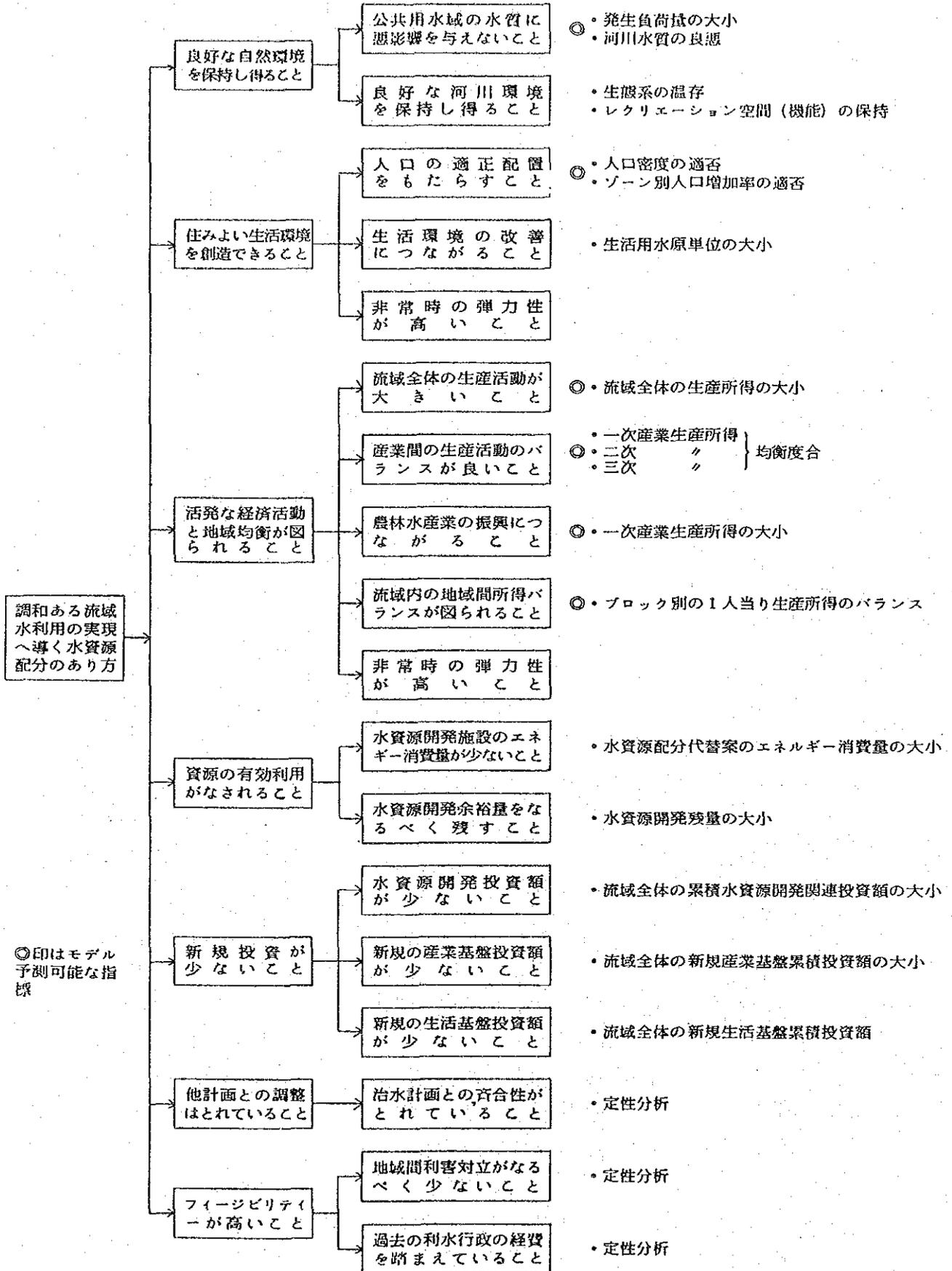


図-36 水資源配分における評価項目関連図

② 制約指標：制約条件として指定される一定の水準を満たすべき指標で、要件充足性のなかでも主として逆機能を表わす評価項目及び実行可能性を表わす評価項目が相当する。

③ 関連指標：評価に際して考慮すべき指標であり、前提の潜在的機能、さらには事実対応性を表わす評価項目が相当する。

代替案の抽出は、計画立案者などが経験などに基づいて代表的な計画案を描いたり、あるいはプロセス図にも示されるように上記①の中から定量的に計測し得る評価指標を選択し、その充足度（達成度）を目的関数とし、また②の中から定量的に把握可能な評価指標を選択し、そのあるべき水準を制約条件とした最適化モデルなどによる部分的に最適（一部の評価項目の下であるから）な代替案を求めることにより行われる。

この場合、目的関数さらには制約条件を導く計画シナリオは計画立案者のもつ経験や置かれている立場により様々である。計画シナリオは往々にして現実の水問題が深刻であればあるほど、悲観的、微視的、短期的視野から構成される傾向が強いが、楽観的、巨視的、長期的な立場からの検討も必要とされよう。

2) 計画代替案の属性（評価指標値）の表示

以上のプロセスにしたがって抽出された代替案は、ある計画シナリオ、つまり、水資源の配分、利用の適正概念のうちの一側面から眺めたにすぎず、つぎの段階において、全ての側面からの検討を加えねばならない。このためには、図-37にも示されているように定量的な表示

が可能な評価項目については、シミュレーションモデルなどを用いて予測、表現を行うと共に、不可能な評価項目については、文章記述などにより、第三者にも理解が容易な形に表現しておくことが簡明である。

(3) 総合評価

適正な水資源の配分・利用の評価は多面的な性格をもっている。そのため(2)で抽出された計画代替案のもつ、各評価項目に対する属性（評価指標値）に基づいて適正概念を構成する複数の目標に対する達成度合を総合的に評価し、計画代替案の優劣比較を行う必要がある。このことは、通常ベクトル量として捉えられる各代替案の属性をスカラー化、あるいは低次元ベクトル化することにより、意思決定者の直観的な比較、理解を容易化することといえよう。その一つの方法として、図-38に示す総合評点システムなどがある。このシステムにより総合評価を行う場合に留意すべき事項として、

1) 評価には様々な立場があり、立場が変われば評価項目に関するウェイトづけも異なるし、また往々にして利害対立する場合も起こり得る。そのため、ウェイトづけに当ってはできるだけ客観的な立場からなされる必要があり、このことは個人のもつ主観をアンケート調査などを通じて集約、整理、分析し、より客観化していく、という努力として捉えられよう。その場合、ISM法、DEMATEL法などは、価値意識の構造を明らかにするための手法として、また、その定量化に際しては数量化理論などの手法が有効と考えられる。

2) 総合評点システムに相上される代替案は前述した

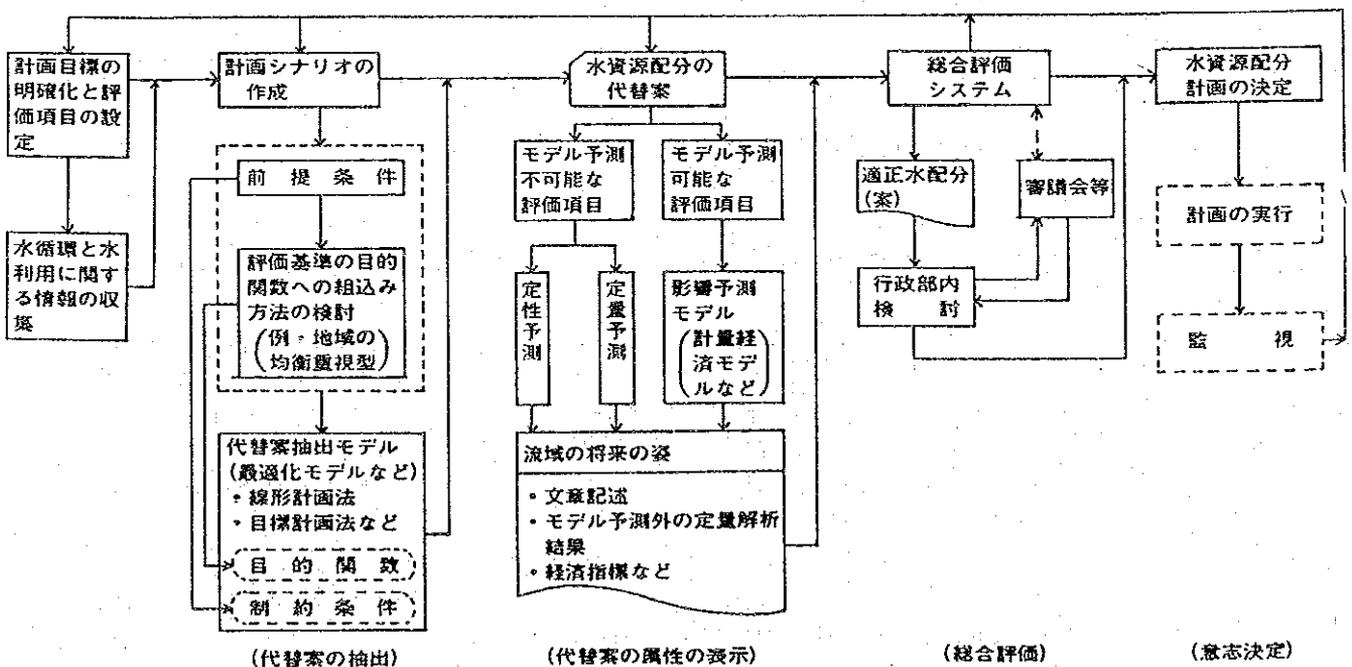


図-37 適正な水資源配分計画の立案プロセス

配分案 評価項目	水 資 源 配 分 案 ()				水 資 源 配 分 案 ()			
	影響度	評 価 項 目 間 ウ エ イ ト	評 点	ウ エ イ ト 付 評 点	影響度	評 価 項 目 間 ウ エ イ ト	評 点	ウ エ イ ト 付 評 点
A	○							
B	※							
C	※							
D	※							
E	○							
	×							
	○							
H	×							
計	-	100	-		-	100	-	

↑ 総合評価点 ↓

注) ※印は計量経済モデル、SDモデルにより定量予測可
○印は他の方法により定量予測可
×印は定性予測

図-38 総合評価システムの概念

ように、ある計画シナリオに基づいた、部分的に最適化されたものにすぎない。本来、目標の設定から、意思決定までの一連の評価プロセスである。このように考えると、計画シナリオをもつ社会的妥当性などの事実対応性や、不確実性などの諸属性についても本来十分な評価が必要となる。

(4) 意思決定 (代替案の最終評価)

意思決定者は、計画立案者、分析者によって作成された総合評価結果を参考として意思決定を行い、一つの計画案を選定する。その場合、意思決定は時代における価値感や意思決定者のおかれている社会的、政治的立場によって変わり、その全てを客観化する手だては考えられない。

3.2.4 利水安全度と渇水対策

近年頻発する渇水現象は、単なる異常気象による小雨現象の他、水の供給構造、水の利用構造とも密接な関係を有している。

すなわち、水資源開発の安全度は、あるいは需給関係を満足するための貯水池必要容量にして、原則として、10年に1回程度発生する渇水を対象として計画されている。これは、水資源開発コストと渇水による被害発生額とのある意味での均衡点であるという解釈もできる。

これに対して、水の供給構造としては、例えば、河川水の利用率が向上すれば、渇水時における水の供給性は脆弱化することが報告されている。さらに渇水被害の増加要因は前述の供給側の特性の変化と共に水利用の構造にも存在する。

家庭用水についてみると、従来は新水を必要とする用途のみに用水が利用され消費の形態もため洗い中心であった。これが現在では、要求水質水準の低い用途が加わったにもかかわらず新水を使用していると共に消費の形態もフロー型となっている。このような水の使用形態が新しい生活様式と密接に結びついており、予期された水の供給が達成できない場合の不便感を一層増大させている。また、家族構成の変化、生活様式の変化による渇水時における対応行動の硬直化が認められる。このような渇水耐性の低下は、家庭用水のみならず、都市活動用水にも見られる。すなわち、冷房の完備、水洗便所の普及、業務用冷凍冷蔵庫の普及、外食機会の増大、電子計算機の普及により都市活動と水供給の結びつきは益々密接になってきており、加えてこれらの用途は大量の新水を利用するため利用の合理化が進展しており、渇水時における節水の余地は少なく、渇水の都市活動に及ぼす影響は急速に増加しつつある。

工業用水は、公共用水域への排出規制ともあいまって大幅な生産増をわずかな新水増で達成してきた。つまり、大幅な回収率向上により新水1m³当りの付加価値は加速度的に増大しており、渇水時の被害を増大させる要因の一つとなっている。

農業用水については、基幹労働力の流出、休日農業化などの生産様式の変化による渇水時対応行動の低下が認められる。

このような状況の中で、渇水の社会経済活動に及ぼす影響度は増大しているといえることができる。

(1) 水資源開発と渇水対策

渇水対策について考察する前に、水資源開発と渇水対策などの相互関係について整理しておく必要がある。

すなわち、長期的な水需要の増加に起因する水需給ギャップの解消が水資源開発であり、このような水需要と供給の関係の中において、計画対象渇水を超える異常渇水の渇水被害軽減が渇水対策といえることができる。

水資源開発の評価は開発における便益と開発コストによりなされるが、これらの便益は、渇水対策によって左右されるということが出来る。

図-39の縦軸上側はある量(Q)水資源開発における便益を示す軸である。横軸は、渇水対策の程度を表示する指標として示されており、 $df=0$ は、例えば、安全度1/10で計画され何らかの渇水対策がなされない場合を示す。

したがって、この図において、従来われわれが水資源開発による便益として理解してきたものは、期待便益額(B₀)にすぎず、現実の便益額は、これら渇水による被害発生可能額(DB)を控除したものとして考察する必要がある。

すなわち、同じ安全度Q₀の開発でも何らかの渇水対策がなされておれば、より高い便益を有することは、当然のことであり、図-39は、このことを概念的に示したものである。

(2) 渇水対策の手段と評価

渇水対策の対応の形としては二つの側面がある。

その第1は、同じ渇水が発生しても水利用者側の対応によって、渇水被害を軽減せしめるものである。

その第2は、同じ気象現象においても渇水時における、供給者側の対応によって、被害を軽減せしめるものである。

河川管理者としての渇水対策としては、これらの中で、渇水調整という立場からの利水者の調整的なもの他、

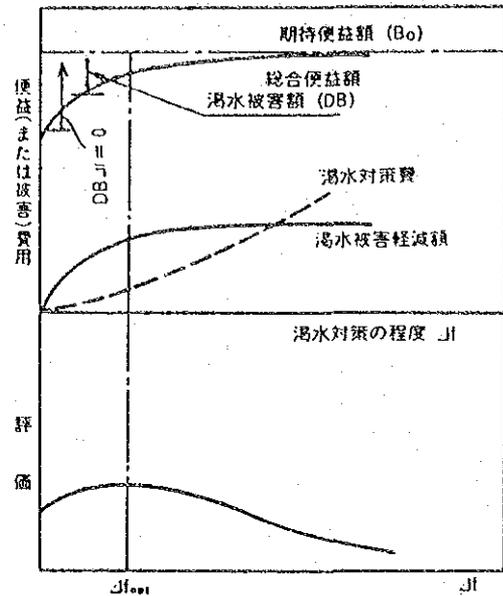
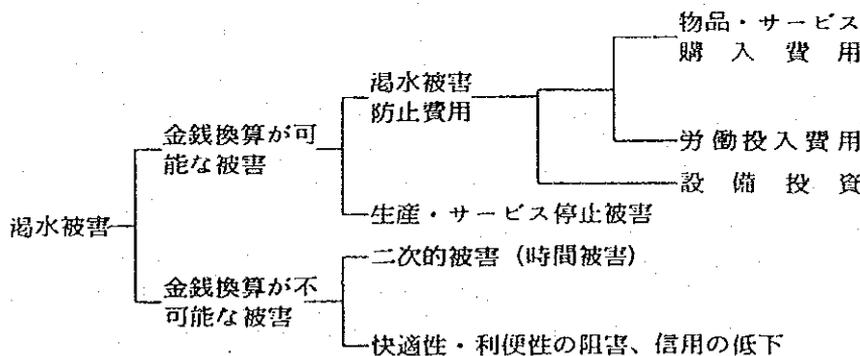


図-39 開発量、水資源開発安全度を固定した場合の渇水対策費と渇水被害軽減額の関係を示す概念図

次のようなものが挙げられる。

- ① 暫定水利権などによる安全度の低い水利権に対して必要な貯水池容量確保のための水資源開発を推進することにより安全度向上を図る。
- ② 上記水資源開発ダムとは別途に渇水の緊急時にのみ補給可能な備蓄ダムなどの施設を整備する。
- ③ 与えられた施設を有効に運用し、渇水被害の軽減を図る。

次に、これらの対応方策をどのような指標に基づき評価していくかという問題がある。渇水の被害構造を整理してみると以下の通りである。



これらの中で、金銭換算可能な被害額については、渇水地域における実態調査の結果をもとにして明らかにしようとの試みがなされている。

その結果は利用目的別、あるいは地域別に、節水率(%)と被害額原単位(円/m³)との関係曲線 $f = f(s)$ を作ることににより、渇水対策のある面における評価が可能となる。

る(図-40)。

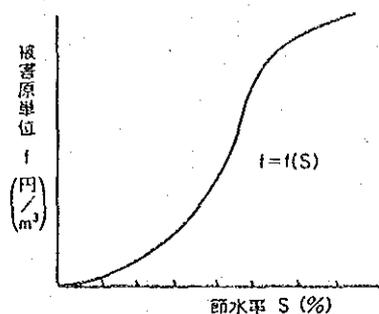


図-40

いま、ある地域の取水量を Q 、これに対する第 i 次節水率を S_i 、その取水制限日数を D_i とすれば、ある地域のある利用目的の漏水被害総額 F は次式になると考えられる。

$$F = \sum (Q \cdot S_i) f(S_i) \cdot D_i$$

これを利用目的別に集計すれば、全体の漏水被害額をマクロに計算することができる。

このようにして漏水被害の定量化結果は、ある漏水対応行動計画を評価選択するための目的函数として利用することが可能である。

応用可能な課題としては、一応次のようなものが考えられる。

- ① 妥当な水資源開発安全度と漏水対策の規模決定。
- ② 漏水時の地域間、あるいは用途別用水配分調整の検討
- ③ 漏水時の貯水池運用方式の検討
- ④ 漏水時緊急水備蓄ダムなど漏水対策の投資事業の効果分析

このうち、①は漏水対策による効果と漏水対策費を同一指標で、同一レベルで表示することができない限り、実用的には無理がある。

②についても、各目的別、地域別の精度高い被害原単位の予測と各目的別、地域別利害の競合に関して数学的最適化と行政的問題点との間になじみ難い面があり、現実的に困難さが残る。

③については、各目的、あるいは地域間配分に際して、等率節水といった仮定をおけば、絶対的な漏水被害額の問題ではなく、ある行動計画のどれを選ぶかといった同種行動の相互比較のための一指標として使用するものであり、前二者よりは、より上学的であるといえることができる。

④については、投資に対して、便益がどうであるかといった投資効果の確認という立場からのものであれば、安全側における投資効果の分析が可能となる。

以上のような応用の可能性に対して、現時点において

は、漏水被害の計量分析精度から見て、現実的に適用可能な範囲としては、③、④になるとと思われる。

以上のことから、

③ 漏水時の貯水池運用方式の検討

④ 漏水時緊急水備蓄ダムなど、漏水対策の投資事業の効果分析の二つについて、木曾川水系において、ケーススタディを実施した。

3.3 ま と め

水の利用量が増加し、河川の利用率が增大するに従い、水資源の開発と利用のあり方は、より厳密な水の物理的循環実態とそれに基づく流域内諸指標の相互関係の中で、評価されなければならない。

このような観点から、水資源の開発と利用を評価しようとする場合、次のような諸点が明らかになった。

(1) 物理的立場からの評価としては従来は量を主体としたものであったが、水の循環という立場からは、質についての考察が重要になってくる。また、量についても、取水量のみでなく還元量(あるいは消費量)といった新たな管理指標を考察する必要があり、さらには、これらの新しい指標相互の物理的関係の中で利水安全度のあり方及び、漏水時の対応方針などについても考察しておく必要がある。

(2) 水資源開発施設代替案の評価に当たっては、従来はそのプロジェクトが独立であるとして差しつかえなかった。しかしながら、流域内の諸要素が水の循環実態に基づき、個々に有機的関連性を有するとすれば、今後、水資源開発施設の代替案もより多くの評価指標、制約指標、その他に基づき評価がなされる必要がある。

(3) 社会経済活動の水に対する依存度が高まるに従って水の価値及び、需要は外生されるべきものではなく、土地やエネルギー資源などと同様に、地域の社会経済計画の一つの制約指標として取扱われるべきであろう。したがって、水の価値及び、需要は水を開発し供給する側の置かれている状況によっても変化する。このような観点から、これからの水配分問題あるいは、水資源開発問題の地域計画へのフィードバックなどが考察される必要がある。

一方、昭和53年11月に公表された「昭和65年に向けての水資源開発と水利用」によれば、水資源に関する課題として次のような項目が挙げられている。

- ① 計画的な水資源開発の推進と水源地対策の拡充強化
- ② 水資源の有効利用
 - i) 水利用の合理化節水の推進
 - ii) 排水再利用の推進
 - iii) 雨水貯留水などの利用
- ③ 地下水の保全と利用
- ④ 異常漏水対応などの確立と推進

- ⑤ 水資源開発政策と地域政策の整合
- ⑥ 適正水利用の推進と総合水管理体制の確立

これらの行政課題に対して、上記の適正水利用の評価の視点は何らかの形で対応しているということもできる。

次に、益々複雑化していく水問題の評価手法について本節では、物理的立場からの評価、水資源開発代替案の評価、水資源配分的立場からの評価の3階層に分解してその基礎的考察を加えたが、各々の評価において統一的なことは、複雑な水資源問題を多様な価値観の中で評価するという必要性から考えると、

- ① 分析に関係する指標が多様化している。
- ② 指標相互の関係が複雑化している。
- ③ 評価指標が複雑多岐となり、総合的立場からの評価が必要とされる。

以上のように指摘できる。したがって、これら問題点を含んだ水資源問題に対応していくためには、学問的な立場からの分析が必要となり、また、その整理に当っては少なからずシステム論的アプローチが必要とされる。このような方法論に基づく検討手順としては次のように考えられよう。

- 1) 計画目標の設定
- 2) 計画代替案の検討
- 3) 評価の前提条件の整理と評価項目の選定
- 4) 評価関数の決定と評価値の算出
- 5) 評価

今日の複雑な水資源問題を上記の流れのなかで分析し、計画決定に導くとはいえ、多様な価値観の中で一義的に最適解を得ることは不可能であり、したがって、評価から意思決定に至るまでは、総合評点システムなどの手続きが必要となる。いにかえるならば、当該分析の目的は、意思決定に当って、いかに効率的に、しかも簡明な情報を意思決定者に提供するかということに帰着される。

このような立場から考えると、上記手順を踏まえた分析結果においても、その結果のみが、重視されてはならず、評価の場、評価の目的、評価の前提条件及びその過程と共に考察されるべきことを忘れてはならない。

4. 総 括

昭和52年度より開始された本課題も最終年度を迎えることになった。ここでは、過去4年間の調査研究活動を振り返ることにより、総括的立場から取りまとめを行うと共に、今後さらに調査研究を継続すべき事項について言及することとしたい。

本研究は、水文学から社会工学に至る非常に広範なテーマに取り組むこととなった。したがって、いくつかのワーキング・グループを編成し、各々作業を分担することにより組織的に調査を実施することとした。しかしながら、テーマが余りにも広範すぎたために、未だ、検討の

方法論さえ明確でないもの、あるいは長い年月をかけて調査研究がなされているにもかかわらず、明確な結論が得られていないものなどの分野が多く、調査の方向づけとその方法論を明らかにするまでに相当の時間を要することとなった。また、このように多岐に亘る分野の技術を包括的に取りまとめ、一つの方針を打ち出すためには、各々の技術水準のレベル調整が必要となる。しかしながら、前述のように、個々のワーキング・グループにおける方法論さえも明確でないものもあるため、結果的には現状の技術水準においてどの程度まで包括的に目標を満足し得るかといった立場からの討議と併せて、各々のワーキング・グループの研究課題が推進されてきた。このような実態に対して、着実に研究を推し進めていくための必要条件としては、いうまでもなく、常にその研究目標を明確に認識しておくことにあるといえることができる。このような立場から、本研究の目標としては、第一に、水循環システムに立脚した水資源の開発と利用を現行河川管理体系内でどのように実現することができるか、第二に、水循環システムに立脚して効率的な水資源の開発と利用を達成するためにはどのような河川管理体系をめざすべきか、といった行政的な要請に対して技術的立場からの情報の分析と整理を行うことであろう。このような研究目標に対して次に示すような研究課題が設定された。

(1) 水の物理的循環実態をどのように把握するか(水循環に関する研究)

1) 降雨、蒸発、表面流出、地下浸透等々の実態をどのような方法論で計量的に把握し表現するか。

2) 各種用水の取水還元実態をどのような方法論で計量的に把握するか。

3) これら1)、2)を踏まえて流域的立場から水の循環実態をどのような方法論と手段で定量的に表現するか。

(2) 水の物理的循環実態を踏まえての水の利用を自然環境、あるいは社会経済的立場からどのような方法論に基づいて評価していくか(水利用に関する研究)

1) 水利用を評価するための指標またはその基準、さらには、適正な水利用を追求するための方法論に関する研究

2) 以上の諸調査を踏まえて、各モデルケースにおける適正水利用計画策定に関する検討

これらの諸研究課題について、各地方建設局などにおける積極的な調査研究、あるいは担当者会議における議論の結果「水資源の開発と利用」における「水循環」の影響は従来われわれが概念的に認識していたものより一層明らかになってきたといえることができるであろう。以下、項目別に整理してみると、次の通りである。

① 水循環の把握に関する研究は、従前から実施されてきた流況把握の現況技術水準を基礎にして実施するものとするが、河川の流況構成要因を細分化(降雨、融雪、

損失、浸透、表面流出、及び伏設、農業用水都市用水など各種用水の還元過程)し、これらの構成要因別の流出機構を積上げることにより、人為的に各構成要因に何らかのインパクト(取水、汲上げ、排水などの)を加えた場合、河川の流況との関係が計量的に関係づけられるような流域水循環モデルの作成を目的としたものである。

② このような目的のため、各々の水循環要素ごとの機構解明とその精度向上についての検討が実施された。

このうち、従来から継続して実施されてきた降雨の把握と自然流出過程の把握精度向上について検討が加えられた他、地下水、融雪などの自然水の水循環要素及び農業用水、都市用水などの用水の水循環要素に関する調査が全国的に収集されたことにより総合的立場からの分析が試みられた。このような立場からの検討は初めての試みでもあり、加えて各々の要素にはかなりの地域性もあったため一部のテーマについての概括的な取りまとめに止まった。しかしながら、いくつかの水循環要素モデルの現地河川への適用が初めて試みられたことや、今後この種の調査を実施して行くに当たっての留意事項などの貴重な提案がなされたところに本調査の一つの意義を見出すことができる。

③ すなわち、降雨の高度分布、蒸発量の低水流出量に占める比重、農水還元量を支配する要因の調査、地下水、表流水の一体性、また、都市用水の水循環に関しては、水利用機構の差が還元量を大きく左右すると共に水質についても同様の調査が必要である等々が指摘された。

④ これらの個々の水循環要素を解明するためには、各々の水循環要素が影響を及ぼした諸量のみを現地において測定する必要があるが、現実的にはほとんどのケースにおいて得られた観測値が複数の循環要素の影響を受けており、したがって、これらの資料から単独循環要素のみを抽出することは困難である。このような観点から、現地観測方法とそのデータ分析の手法についても考察を加えていく必要がある。さらに、このような把握精度向上と共に、安全側での適用方法などについても考察する必要がある。

⑤ 以上のような、個々の循環要素を自然の流出形態、取水排水形態に照らして有機的に組み合わせることにより流域の総合的立場からの流域水循環モデルが構成されるが、これらの流域水循環モデルの具備すべき機能としては面的、時系列的に河川の水量、水質の計量的表現を可能とすることは当然のことながら、他の目的関数と連立させることにより、水管理に関するある種の最適化が可能となることが究極的目標である。今回の検討においては、前段のみについての試行が実施され、さらにこの中でも面的水量の把握に重点が置かれたが、河道流下時間の導入、浸透過程の導入などの遅れ時間に関する時系列的表現について今後さらに検討を加えて行く必要があろう。

⑥ これらの水循環の計量的把握に関する成果を踏まえて、これら流域水循環モデルを用いて各々の水循環要素の水管理における位置づけを明らかにする必要がある。つまり、水の水循環実態に立脚して水の管理運用を実行しようとする場合、自然の河川流量と社会経済活動、あるいは自然環境などとの媒体となるものが水資源開発施設、及び水制度などであるが、これら媒体のコントロール指標となるものが、水の水循環要素、施設の規模、利水安全度、確保流量、河川の水質などのいわゆる「水管理指標」である。これらの水管理指標は相互に計量的な因果関係を有しており、さらに、これらの組み合わせは無数に存在する。これらの無数に存在する組み合わせの中から、どのような組み合わせを自然環境、社会経済指標に照らして選択するかが、後述する水利用に関する研究の主要課題である。

⑦ 水資源の開発と利用を、上記の水の水循環実態に基づき、どのような社会経済的、あるいは自然環境的指標に照らして評価するか、また、その方法論としてはどのような手法が妥当であるかといった側面からの検討が必要であり、このような立場から実施された調査研究が「水利用に関する研究」である。

これらの評価の方法論を検討するに当たっては、これまでの歴史的過程を踏まえて確立されてきたこれまでの方法論が、水資源の開発と利用の現実を踏まえて、どのように拡張、発展されるべきか、といった立場からのアプローチが効率的検討方法であるといえよう。

⑧ このような立場から、今後の水資源開発と利用の評価の方向としては、水利用の拡大に伴う流域諸量の相対的有限化の中で顕在した種々の新たな評価要因をどのようなかたちで既往の評価体系の中に組み込んでいくかということである。つまり、⑥にいう水管理指標のうち、用水の水循環要素(用水の取水排水機構)や、安全度のあり方河川の水質などについても、水資源の開発と利用における初期段階から存在したのではなく水利用率の増大と共に顕在化してきた指標であるといえることができる。また、従来は外生的に与えられた水需要量などは、水資源の開発及び供給特性に応じて変化してくることが明らかであり「地域政策と水資源開発政策の整合」といった行政課題として取上げられるようになった。さらには、水資源の開発及び管理を実施していく上での環境問題などの新しい制約も水利用率の増大とともに顕在化してきたといえることができる。

⑨ このような立場から、益々複雑化していく水問題の評価手法について、物理的立場からの評価、水資源開発事業的立場からの評価、水資源配分的立場からの評価の3階層に分解してその基礎的考察を加えたが、複雑な水資源問題を多様な価値感の中で評価していくためには少なからずシステム論的アプローチが必要である。しか

しながら多様な価値感の中で一義的に最適解を得ることは不可能であり、したがって、評価から意思決定に至るまでは総合評点システムなどの手続きが必要となる。いにかえるならば、これらの分析の目的は意思決定に当って、いかに効率的に、しかも簡明な情報を意思決定の場に提供するかということに帰着する。

このような立場から考察すると、このような評価分析の結果のみが重視されてはならず、評価の場、評価の目的、評価の前提条件、及びその過程と共に考察されるべきことを忘れてはならない。

以上、昭和52年度より4年間の調査研究における総括的取りまとめを行ったが、還元用水の機能を現実的な水資源管理においてどのように反映させていくかについては、一応の方向が見出されたものの、調査研究の過程で改めて明らかとなった課題も含めて今後の調査研究に期待するところが多い。また、これらの研究を現実的な水管理行政に反映させるための一つの方向として循環過程にある水の量と質の管理目標を簡明に表現し、これを達成するための方策をどのように表現するかといった立場からの検討も今後の重要な課題の一つといえる。さらに、このような段階での検討を踏まえて新たな調査研究上の課題提起も予想される。このような立場から、本研究会における4年間の成果を「水の循環を踏まえた適正な水利用」実現のための一里塚として、今後、各河川においてさらに現実的な調査研究の発展的継続を念願する次第である。

参 考 資 料

水循環と水利用に関する
ケース・スタディ(概要)

目 次

1. はじめに	44
2. 水循環に関するケース・スタディ	45
2.1 重信川流域における水循環調査	45
2.2 筑後川流域における水循環調査	46
2.3 最上川流域における自然水循環の解析	47
2.4 佐波川流域における水循環モデルの検討	48
2.5 信濃川流域における水循環モデルの作成	49
2.6 石狩川流域における水循環モデルの検討	52
3. 水利用に関するケース・スタディ	52
3.1 淀川流域における適正水配分の検討	53
3.2 淀川流域における取排水システムの検討	53
3.3 重信川流域における多角的な水利用の検討	55
3.4 荒川流域における適正水利用計画の検討	57
3.5 荒川流域における水質面からの水利用の 検討	59
3.6 芦田川流域における再生水資源計画に関 する検討	60
3.7 水利用における水質の消費と復元に関す る検討	62
3.8 異常渇水対策に関する検討	64
4. おわりに	65

1. はじめに

本研究会における作業は、各地方建設局等が調査研究の対象として取上げたモデル河川流域におけるケース・スタディを中心として実施された。これらのケース・スタディの内容は、以下の通り種々多様である。

(1) 水循環に関するもの

- ① 重信川流域における水循環調査(四国地建)
- ② 筑後川流域における水循環調査(九州地建)
- ③ 最上川流域における自然水循環の解析(東北地建)
- ④ 佐波川流域における水循環モデルの検討(中国地建)
- ⑤ 信濃川流域における水循環モデルの作成(北陸地建)
- ⑥ 石狩川流域における水循環モデルの検討(北海道開発局)

これらは、各々の対象流域の水循環特性の把握と共に、その表現方法について検討を加えたものである。

- (2) 水利用に関するもの
- a) 水資源の適正な配分・利用に関するもの
 - ① 淀川流域における適正水配分の検討(近畿地建)
 - ② 淀川流域における取排水システムの検討(近畿地建)
 - ③ 重信川流域における多角的な水利用の検討(四国地建)
 - ④ 荒川流域における適正水利用計画の検討(関東地建)
 - ⑤ 荒川流域における水質面からの水利用の検討(関東地建)
 - ⑥ 芦田川流域における再生水資源計画に関する検討(中国地建)
 - b) 水質の消費に関するもの
 - ⑦ 水利用における水質の消費と復元に関する検討(関東地建)
 - c) 異常渇水対策に関するもの
 - ⑧ 異常渇水対策に関する検討(中部地建)

以下では、これら各ケース・スタディの概略を紹介する。各ケースについては、調査研究の目的・内容・結果さらには今後の検討課題を簡単に説明する。個々の詳細については、技術研究会論文集(第31~34回、昭和52~55年)及び文中の参考資料を参照されたい。

2. 水循環に関するケース・スタディ

本章では、流域における水循環機構を解明し、さらにはそれを表現するためのモデル作成の実際例を紹介する。全てのケース・スタディは、その目標として対象流域全体の水循環機構をシミュレートできるようなモデルの構築をめざしている。このような水循環モデルの作成においては、地下水流動・農業用水還元などの個々の水循環現象をどのようにサブ・モデル化し、さらには全体モデルの中に組込んでいくかが重要な検討課題となる。各ケース・スタディにおいては、この件に関し、流域特性に応じて種々の試みがなされている。

2.1 重信川流域における水循環調査 (四国地建企画課、松山工事事務所)

2.1.1 調査・研究目的

自然水循環機構の把握のために典型的な扇状地河川である重信川を対象とした地下水を含めた水循環機構の解明、及び水循環をモデルにより表現することを試みた。

2.1.2 調査研究内容及び結果

現況の水利用実態を調査し、地下帯水層特性、地下水を含めた水収支状況の把握により、流域の水循環機構を多重並列タンクモデルにより表現することを試みた。

(1) 水収支解析

1) 流域水収支

本流域における流域水収支解析は次式を用いて検討を

行った。諸元を図-41に示す。

$$(i) \text{ 表流水 } R - E + (Q_i - Q_o) + (S_i - S_o) - D = 0$$

$$(ii) \text{ 地下水 } (G_i - G_o) + (S_i - S_o) - DG = 0$$

累年水収支では、D、DGは無視することができる。

また I_i 、 I_o 、 G_o については実測されており、未知数としては、E、 G_i 、 S_o があるが、Eを別途算定することにより、(i)より G_i が、(ii)より S_o が求められる。

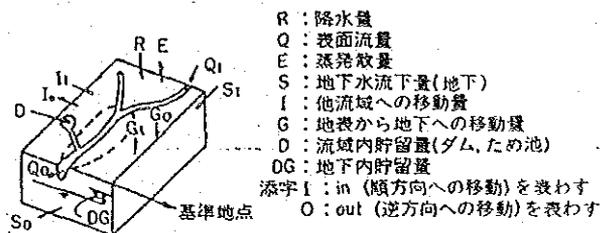


図-41 流域水収支模式図

a) 蒸発散量(E)の算定

山地部における年間総雨量と総流出高の関係から損失量を求め蒸発散量とした。

b) 地下水の貯留量変化(DG)

次式により求めた。

$$DG = \Delta H \times A \times P_a$$

ΔH : 月別水位変動

A : 帯水層面積

P_a : 有効間隙率 (0.15)

'2) 河道水収支

過去の資料によると、地下水は地形地質的な要因によって上流部で伏没、中流部で湧出、下流部で再び伏没傾向がある。

'3) 水循環モデルによる水収支状況

流域の水循環機構を貯留形態により、山地、平地、河道地下水帯層に分け、一体とした多重並列タンクモデルにより表現することを試みた。モデル構造は図-42に示す通りである。以下にモデルの特長を列挙する。

① 地下水帯水層中の流れ(地下水流下量)の評価において、地下水位勾配の変化の影響を考慮した。

$$Q = \left(L_o \times \frac{\text{現在の勾配}}{\text{基準勾配}} \right) \times H$$

Q : 地下水流下量

H : 地下帯水層水深

L_o : 地下水流下孔パラメーター

② 河川及び平地部から地下水への浸透と地下水位との関連を考慮した。

モデルを用いて検証した結果を図-43に示す。これによると計算値は実測値に近づき、より現実的なモデルになったといえよう。

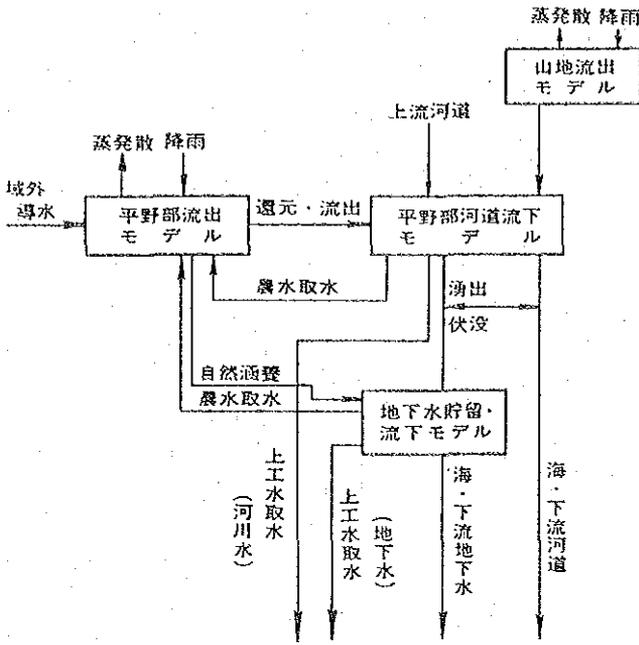


図-42 流域水循環モデル構成 (1ブロック)

2.1.3 今後の課題

モデル精度向上のため、河川と地下水の関係及び農業用水に関する調査を詳細に行う必要がある。

2.1.4 参考資料

- ・土研資料1593号 重信川水管理計画に関する調査

2.2 筑後川流域における水循環調査

(九州地建企画課、筑後川工事事務所)

2.2.1 調査・研究目的

本調査は、筑後川をケース・スタディ河川として、現況の水循環機構の把握及びこれらを表現する水循環モデルの検討を行い、今後の適正な流水管理を行うための基礎資料を得るものである。

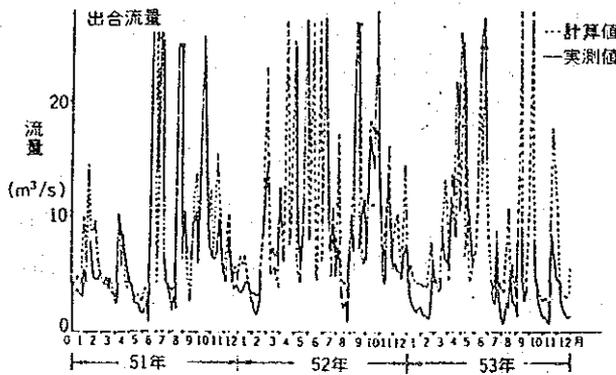
2.2.2 調査・研究内容とその結果

(1) 流域の概要

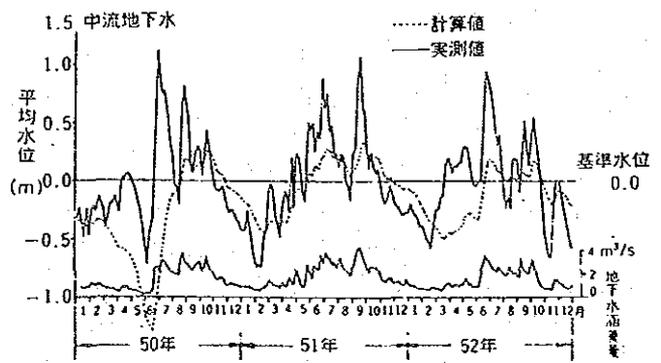
筑後川は、流域面積2,860 km² (山地約70%、平地約30%)、幹川流路延長143 kmの九州随一の河川である (図-44参照)。

(2) 現況の水収支把握

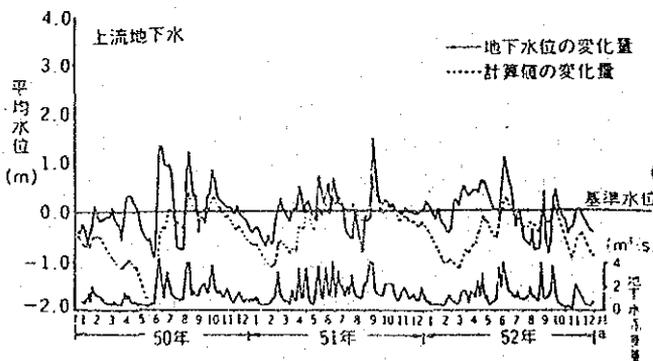
流域内の水は、河川、地下水、農業などの各水循環要素間、各分割流域間で様々な形態でやりとりされており、この水の流れを地域間水資源連関表により、期別に現況把握を行った。昭和50年を対象年とすると、年降水量は



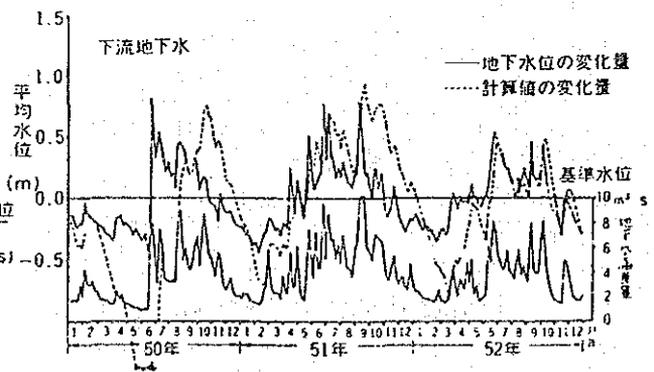
河川流量：計算結果



地下水位計算結果 (中流地下水)



地下水位計算結果 (上流地下水)



地下水位計算結果 (下流地下水)

図-43 計算結果

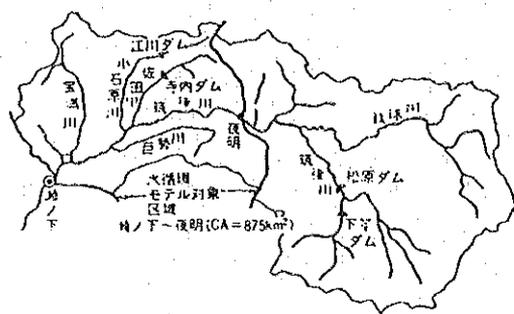


図-44 筑後川流域概略図
(瀬ノ下上流域 A=2,315 km²)

1,600 mm/年で、そのうち河川流出量61%、蒸発散量34%、地下流出量5%となる。

(3) 水循環モデルの検討

現況の水収支検討結果及びサブモデルとして検討された低水流出モデル(貯留関数法による)、用排水循環モデルを有機的に接続することにより、水循環シミュレーションモデルの作成を行った。このモデルでは、対象流域を筑後川中流域(流域面積875 km²)とし、降水量と流域上流端(夜明)流量を入力することにより、流域及び河道の指定された地点における任意の日の流況を出力可能とした。

(4) 地下水変動モデル(サブモデル)

水循環解析の結果、特に自然水循環の中で地下水の役割を無視できないため、地域をしぼって地下水変動モデルを作成した。モデルはダルシー則に基づく平面二次元モデルとし、差分法で計算した。対象流域は筑後川中流域の平地部とし、1 kmの正方形メッシュに分割した。

水循環モデル及び地下水変動モデルに基づく検証結果によれば、河川水と地下水のやりとり、各種定数の精度向上など問題点は残したが、一応のモデル化は行えたと考えられる。

2.2.3 今後の課題

今後さらに調査を進めるべき点は以下の通りである。

- ① 上流ダムの操作及び放流予測を考慮したモデルとする。
- ② 地下水変動モデルとの連動を考慮したモデルとする。
- ③ 各モデルに用いた定数のうち、推定値、変換値などについては、検証計算、調査資料の収集による精度の向上を図る。

2.2.4 参考資料

- ① 水循環機構解析検討報告書 昭和52年10月
- ② 筑後川水収支検討報告書 昭和53年3月
- ③ 筑後川水循環解析検討報告書 昭和54年3月
- ④ 筑後川水循環解析検討報告書 昭和55年2月

2.3 最上川流域における自然水循環の解析

(東北地建、山形工事事務所)

2.3.1 調査・研究目的

最上川流域の水資源開発と水利用計画の樹立及び低水管理などに供すべく、流域の自然水と水利用機構を考慮した面的、時系列的な水収支の実態を表現しうる水循環モデルの検討を行ったものである。

検討に当たっては当該流域の特長として降雪や農業用水が水循環に占めるウェイトが高いため、これらに重点をおいた自然水循環の解析を行うこととした。

2.3.2 調査研究内容とその結果

(1) モデルの構成

一般的な水循環形態をもとに水収支の実態を把握し、これをモデル化するため、図-45、46のような水循環モデルを作成した。これは次のサブ・モデルからなる。

① 地下水の流動機構をマクロ的に表現できるよう、流域を山地と平地(地下水盆地とみなす)に区分し、平地の2段目を浅層地下水、3段目を深層地下水に該当できるようにした。

② 農水の還元量を表現できるよう、平地をさらに水田と水田外に区分し、農業用水の還元特性をモデルに取込んだ。

(2) 水収支要因の検討

入力データ及び水循環機構で特に水収支上重要な事項について検討を行い、考慮した点は次の通りである。

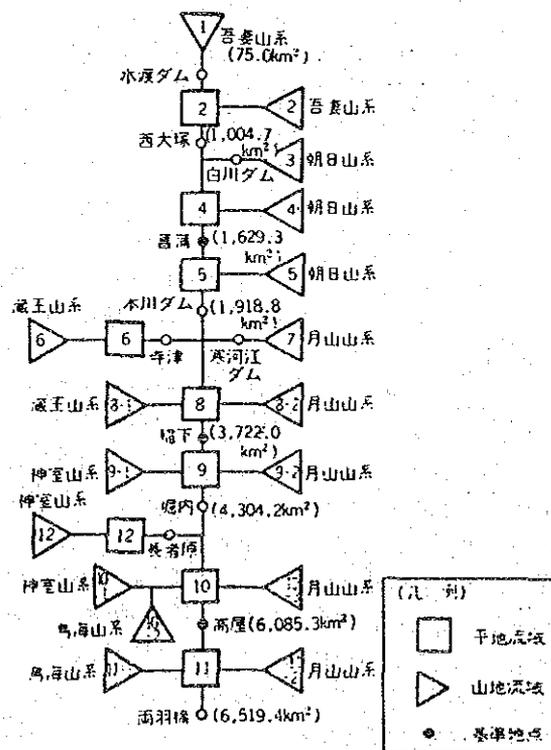


図-45 水循環モデルにおける流域分割

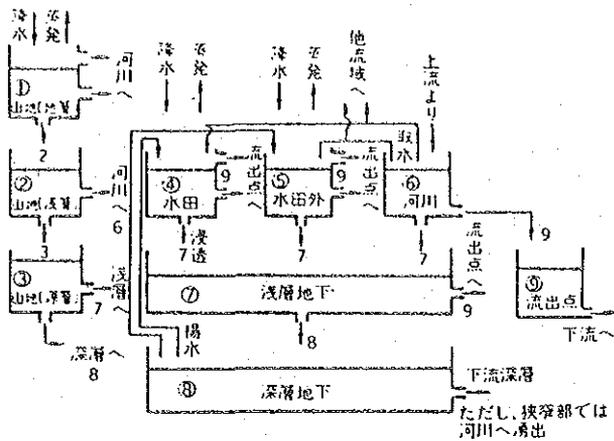


図-46 水循環モデルの一部

- ① 降水量……実績流出高に対して計算流出高の精度をあげるため、季別・山系別の高度補正を行った。
- ② 融雪量……有効気温(0°以上)に融雪係数を乗じて求めることとした。融雪係数は前日の最低気温により変化することが知られており、その積雪状態係数を考慮して月別に融雪係数を定めた。
- ③ 農業用水の還元量……最上川大堰地区での調査では30~50%(平均50%)程度である。これをもとに次の要領で農水還元モデルを作成した。

モデルは畦畔高、維持水深、初期損失などを考慮した構造とし、実測値との適合性をみながら定数を定めた。

- ④ 地下水の流動機構……モデル地区の概略水収支と地下水位などの適合性をみながら定数を定めた。

以上、述べてきた各水収支要因の検討結果を踏まえ、最上川流域全体に適用するモデルを作成した。

このモデルにより、昭和48~50年の3年間について検証計算を行い、実績値との適合性も良好な結果を得た。

2.3.3 今後の課題

地下水、融雪などの循環要素をモデルの中に位置づけることにより、河川流況とこれらに関連づけることができ、一応の成果を得た。しかし、水管理上必要とする精度での適用にはさらに調査研究が必要である。

2.4 佐波川流域における水循環モデルの検討

(中国地建企画課)

2.4.1 調査研究目的

佐波川流域の総合水管理計画の一環として、流域の水循環機構を把握するため、流域の自然水の循環機構(表流水及び地下水を含めた流域全体の水の流動)及び用水の取排水機構の解明、水収支の検討、水循環モデルの作成について検討を行った。

2.4.2 調査研究内容とその結果

佐波川の水利用の特長は、古くから農業用水として数多くの取水堰によりかんがいに利用され、農業用水が錯

綜している。さらに、中流部の河道は山地にはさまれた狭い平垣地を湾曲しながら流下している関係上、地下水は旧河道と推定される水脈に沿ってかなりの湧伏量があると認められるために、複雑な水循環を呈している。

このような流域特長を踏まえて、特に農業用水の還元の表現と、地表水と関連して地下水の流動を考慮することを基本に水循環モデルの作成を行った。図-47にそのモデル概念図を示す。

佐波川流域に対して最適な定数の組み合わせをもつ水循

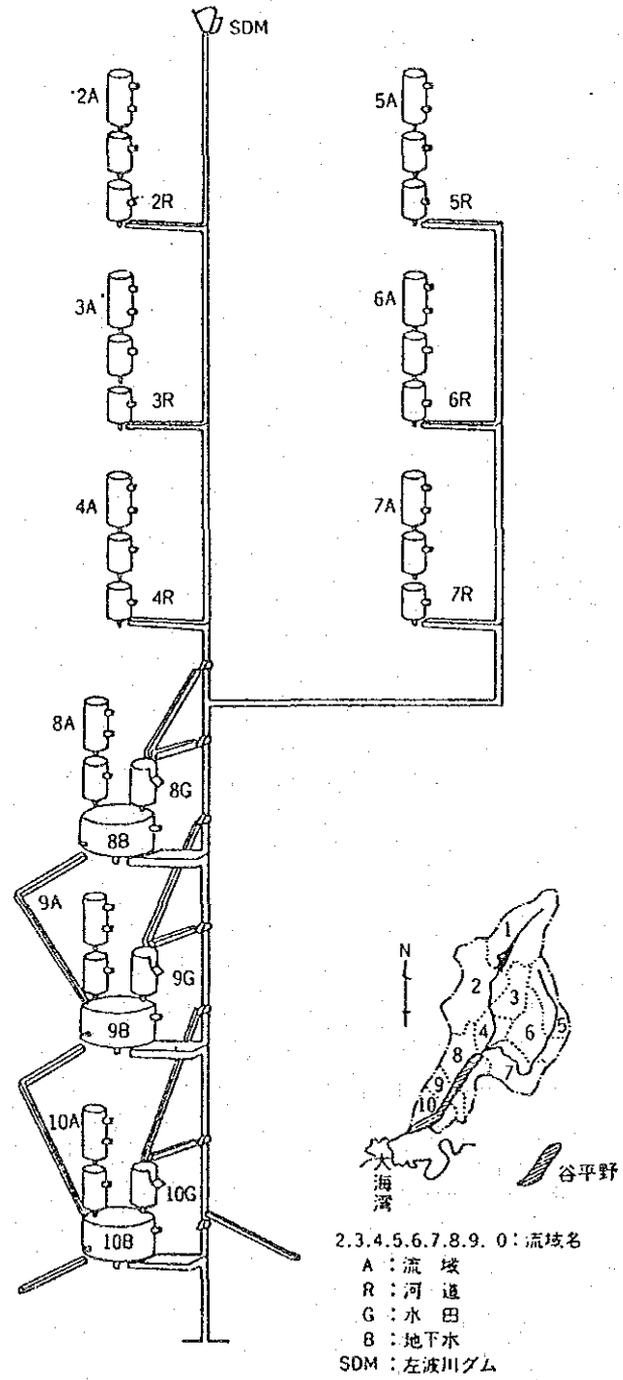


図-47 佐波川水循環モデル概念図

同モデルを決定するため、年間水収支による方法で流出モデルの適合性を評価した。その年間水収支の基本式は次のように表わされる。

$$(総雨量) + (佐波川ダム放流量) - (蒸発散量) - (表流水流出量) - (地下タンクからの浸透量) - (地下から他流域への流出量) - (農水の他流域への流出量) - (流域貯留量) = 0$$

表-19に示す通り、上式の各項目の推定値は、おおむね実測値によく合致しているといえる。

2.4.3 今後の課題

河川水の水収支把握及び滞水層での地下水の移動状況

など、定量化の困難な項目が多いが、各要素の把握精度を向上させることにより、水管理に利用できる水循環モデルを完成させる必要がある。具体的な項目を列挙すれば次の通りである。

- ① 正確な流域平均雨量の把握（観測所の適正配置、高い標高における観測資料の収集）
- ② 伏流水、地下水、河床状況、取水状況などを考慮した流量観測施設の整備
- ③ 地下水流動に関する資料整備（不透水層までの地層構造、地下水位、透水係数、流向、流下幅など）

表-19 水収支計算表

地点名	総雨量 × 10 ⁸ m ³	蒸発散量 × 10 ⁸ m ³	地下タンクからの浸透量 × 10 ⁸ m ³	表流水 × 10 ⁸ m ³	地下から他流域流出 × 10 ⁸ m ³	農水の他流域流出 × 10 ⁸ m ³	流域貯留量 × 10 ⁸ m ³	佐波川ダム放流量 × 10 ⁸ m ³
新橋	7.610	2.178	0.072	5.609	0.020	0.734	0.408	1.225
	7.610	—	—	6.146	0.024	0.734	—	1.225
真尾	7.309	2.045	0.070	6.124	0.007	0.109	0.399	1.225
	7.309	—	—	6.105	0.007	0.474	—	1.225
漆尾	6.966	1.588	0.063	5.900	0.008	0.033	0.334	1.225
	5.716	—	—	6.601	0.007	0.126	—	1.225
堀	2.652	0.763	—	2.715	0.017	0.043	0.039	1.225
	2.652	—	—	2.473	—	0.043	—	1.225

注) 上段 計算値、下段 実測値

2.5 信濃川流域における水循環モデルの作成

(北陸地建企画課)

2.5.1 水循環モデルの概要

(1) モデルの概要とその機能

信濃川流域の水循環機構を表現し、今後の流水管理に資するための水循環モデルの作成を試みた。本水循環モデルは、管理流域単位であるユニット流域を母体として、積雪・融雪機構を盛込んだ低水流出解析モデル、地下水変動解析モデル、用・排水循環モデル、水質予測モデルを中心に構成され、各サブモデルは一定の水利因子により有機的に連結されている。水循環モデルは、基本的には、流域内の自然水・用排水の循環量、河道基準点流況、河道水収支、基準点の水質時系列などが一定の精度で推定可能なものを目指している。したがって、本モデルは、利水計画、水管理上次の機能を保持している。

① 降水量を適当な方法で入力すれば、日々の低水管理を行う上での基準点流況、流域内の用水不足量を予測でき、渇水予測にも適用可能である。さらに、用水ごとの水不足量と渇水被害の関係を把握することにより、渇水被害額を推定することができる。

② 従来、利水安全度は基準点の流量確率規模で評価されてきたが、当モデルを適用することにより利水安全

度を降水量で定義することが可能となる。

③ 水利用形態の変化による流域内の水不足量と河川水への量・質両面の影響が表現可能である。

④ ダムなどの流況調整施設の設置地点から相当離れた下流基準点の流況・取水量などに対し、当該施設による制御量の面的・時系列的決定が可能となる。

⑤ 適当な目的関数・制約条件を連立することにより、水利用の最適化モデルの作成が可能となる。

図-48は、信濃川流域（小千谷～大河津間）を対象に行なった水循環モデルの検討の概要をフロー化したものである。

(2) 水循環シミュレーション・モデル

流域における水循環を把握するには、当流域のような豪雪地帯においては、積雪・融雪機構が考慮された降雨の蒸発～浸透～流出過程を表わす一連の低水流出シミュレーション・モデルの確立が要求される。ここでは、流出解析モデルに含まれる諸定数は、用排水循環モデル、地下水変動モデルなど水循環モデルを構成する他のサブモデルとの水理的な連結が必要であり、かつ一定の精度を確保するために貯留関数法を適用するものとした。ただし、平地部においては、浸透流出成分である地下水変動は、地下水揚水・河道流況・周辺の地下水変動・地下

構造の影響を強く受ける。そこで、このような浸透流出成分については貯留関数の適用を避け、別途、地下水変動モデルの作成を試みた。図-49は、水循環シミュレーション・モデルの全体構成の概略を示したものである。

2.5.2 水循環モデルの検証と水資源計画への適用性

信濃川流域中流部の小千谷から大河津までの流域に対し、水循環モデルを適用し現況流況の再現を試みた。対象とした年度は、夏期に異常渇水の発生した昭和48年である。モデルの検証は、大河津地点の日流量によって行った。結果は図-50の通りである。

2.5.3 今後の課題

現況の利水実態に合わせ水循環モデルによるシミュレーション計算を行った結果一応の成果を収めることができた。今後は入力条件・境界条件などにおける精度の向上を図り、一層の汎用化をめざすため、個々の河川についてもその水循環・水利用実態を把握し、適正な水資源の配分計画の立案に役立つよう発展させなければならない。

2.5.4 参考資料

北陸地建企画部：水循環と水利用に関する研究—信濃川をケース・スタディとした水循環モデルと水資源計画へのモデルの適用性について— 昭和55年10月

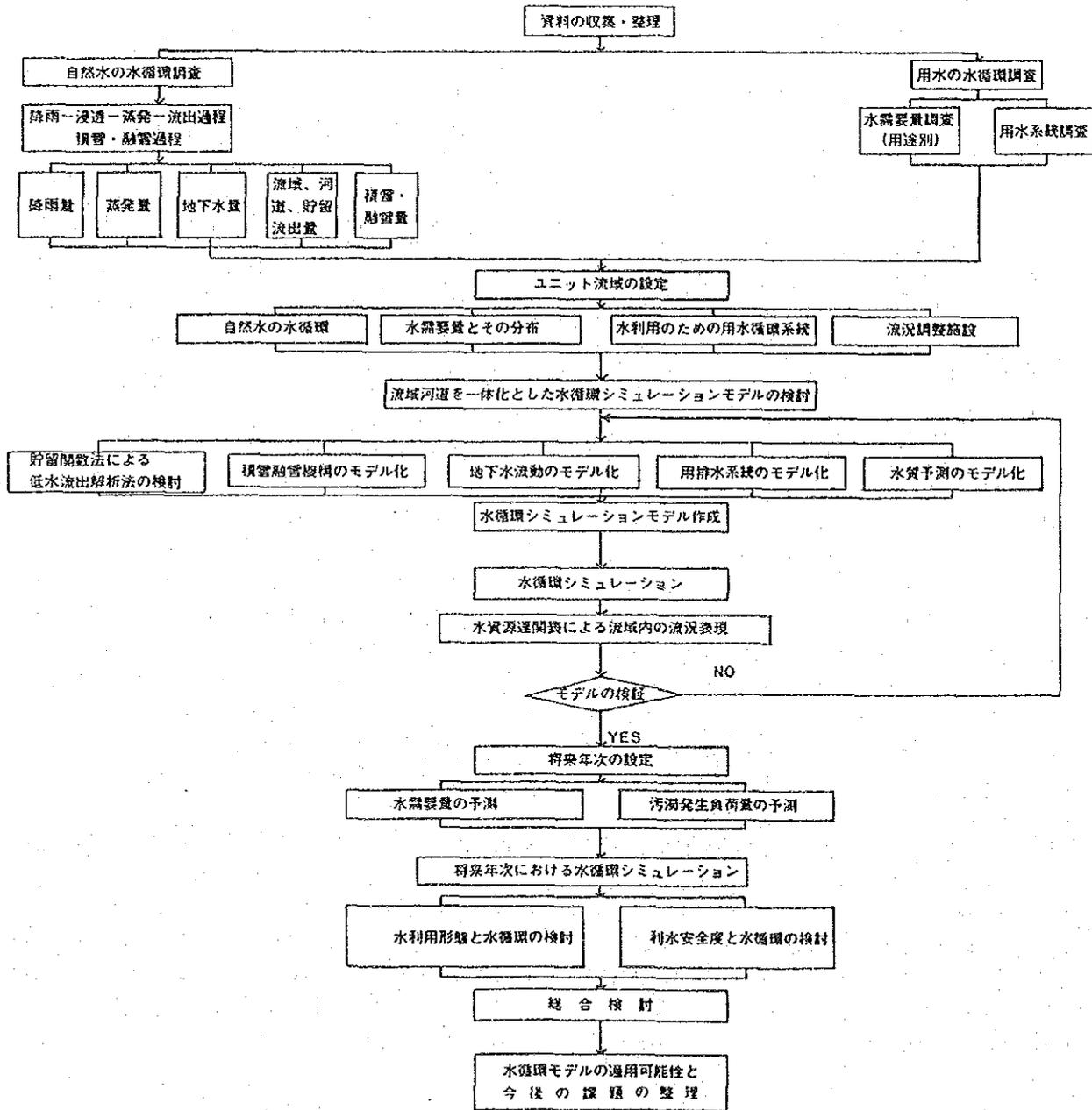


図-48 水循環モデル検討フロー

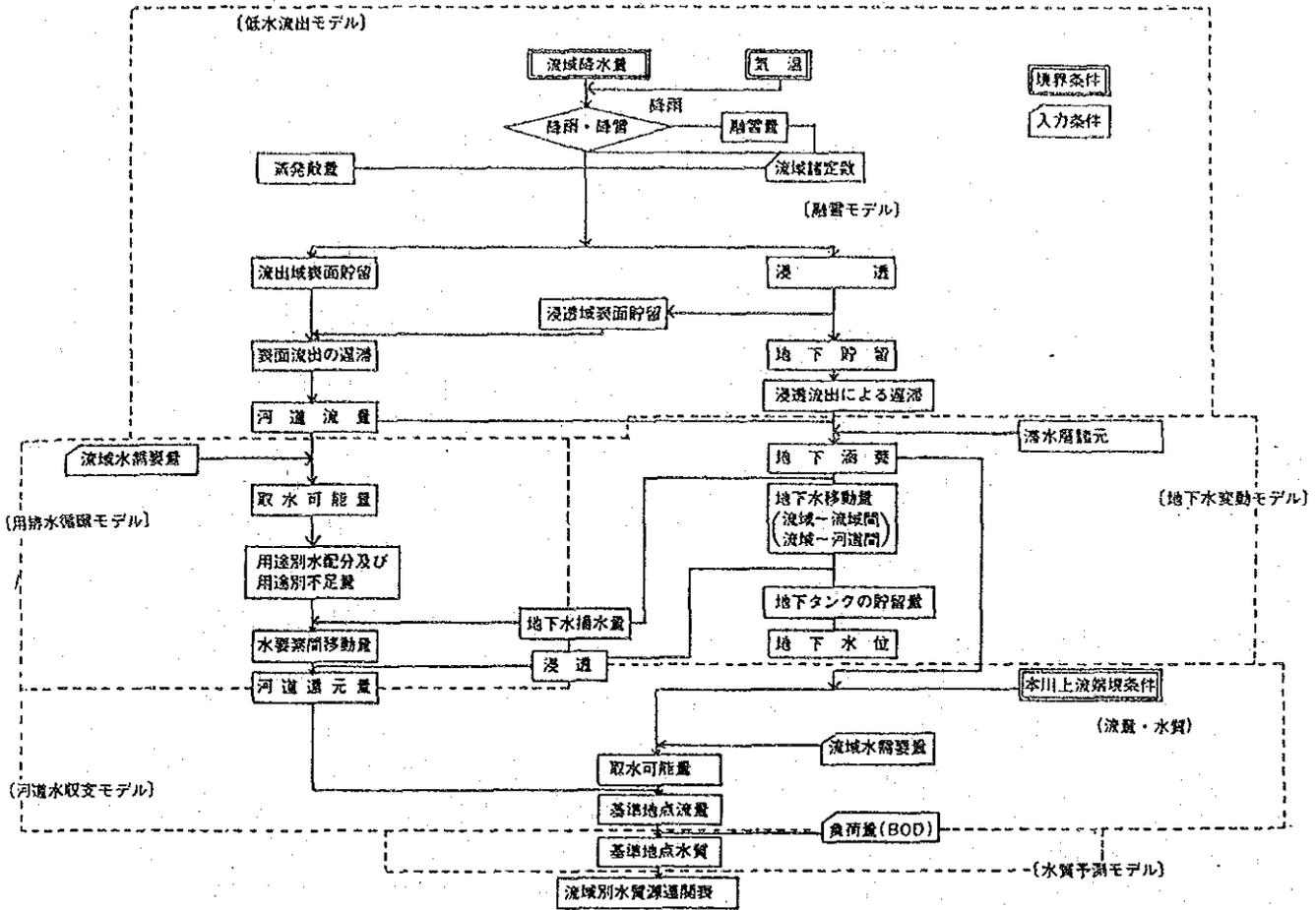


図-49 水循環シミュレーションモデルの構成図

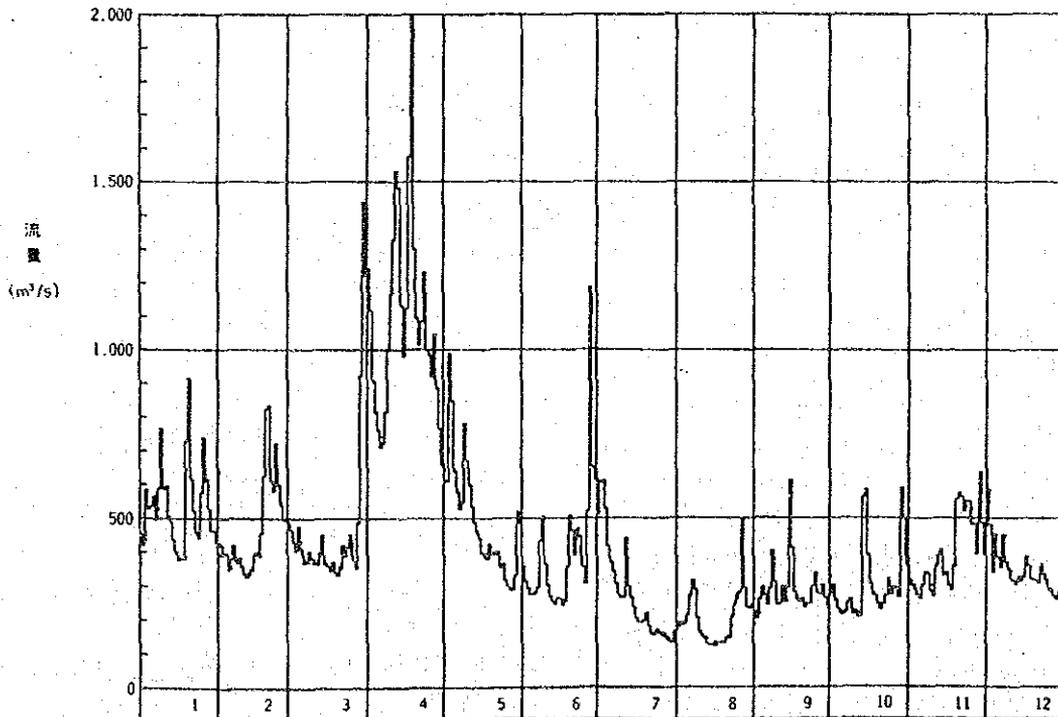


図-50 信濃川大河津地点検証計算結果図(昭和48年)

2.6 石狩川流域における水循環モデルの検討

(北海道開発局土木試験所)

2.6.1 調査・研究の目的

流域内での生産・消費活動の活発化に伴い、水需要は飛躍的に増大し、水不足や水質悪化という直接的な影響ばかりでなく流域の開発への障害など新たな問題も深刻化してきている。また、水資源の不足は、水利用形態の複雑化とも相まって水利用計画の硬直化を招いており、流域内での合理的な水循環・水配分を考えることが重要な課題となっている。そこで、流域内での錯綜した水供給関係を的確に表現することを目的として、水循環モデルの検討を行ってきた。

2.6.2 調査研究内容とその結果

本研究では、合理的な水配分や渇水時の効率的な水配分を実施するため、流域の自然水や用水の循環機構に対応した総合的な流水管理用の水収支シミュレーション・モデルとして提案された流域水管理ネットワーク・モデルを採用している。このモデルは流域の水利用、水循環機構を一種の回路網として捉えようとしたものである。水利用地区の分布や河川の水循環・流況特性などを踏まえて、水利用地区や取排水地点などをモデル上で総合・合理化して節点で表現し、節点間の水の移動を有向辺で表現している。

現在取上げている水利用要素は農業用水・工業用水・都市用水の三者のみであり、上水道・下水道・導水などは有向辺で表わしており、また、地下水との水の授受はモデルに取込んでいない。各水利用要素は個々の節点で連続条件を満足させるため、取水量と排水量との差が消費水量と貯水量の増減分になっている。ここで、取水量は現況の水利権量を基本としている。

水質については、汚濁負荷量と河川流量との比として扱っている。汚濁負荷要素としては、自然汚濁と水利用に伴って負荷される汚濁及び、流域内に居住する人から発生する汚濁と考えている。したがって、一つの河道節点の水質は、その節点へ運ばれてくる汚濁負荷量をその時点での流量で割って得られる値としている。

流域からの流出量を推算するサブモデルとしては、貯留関数法を利用した方法を用いている。融雪については本モデルに取込んでいないが、今後冬期を含めて考えていくためにも重要な要素となるであろう。

本モデルにより石狩川の支川である空知川（流域面積2,573 km²、幹線流路延長173 km）において、ケース・スタディを行った。この結果は省略するが本研究により、流域内の水の動きを面的かつ時系列的に表現することのできるシステム・モデルの概形が得られたと考える。本モデルを用いることにより、流域内の一地域における水利用や流水制御の方法を変更した時に流域の水循環に及ぼすインパクト、さらには水循環機構を介して他の水利

用へ与えるインパクトなどについて表現が可能であると思われる。しかし、今後に残された課題として、次の事項が挙げられる。

① 水利用形態が複雑化していくなかで、流域内の水の動きを正確に把握すること、すなわち、どこから取水した水がどのような経路を通過してどのように消費され、どのように河川へ戻ってくるかということのを正しく把握し、システム化することが最も重要な課題となってくると思われる。

② また、水質については、水質と流量との間の相関は事実上見られないことから、本システム・モデルから得られる情報は定性的にも検討の余地が残されている。しかし、流域開発などに伴うインパクトなどを概略的に扱う場合などには一つの資料となり得るのではないかと考えている。

3. 水利用に関するケース・スタディ

本章では、適正な流域水利用計画の検討に関するケース・スタディを紹介する。

今日の様々な水資源問題の多くは、流域の水利用の拡大に伴って、水量・水質環境・エネルギーといった種々の流域容量の存在が顕在化し、これらの容量制約のもとで新たな水利用を行うに際して、既存の水利用秩序（体系）との間に何らかの相互干渉が避けられなくなってきたことに起因している。そのため、流域の水利用計画を検討するに当たっては、当該流域の水利用率の上昇に従って、次のような視点からの対応が重要となってきたといえよう。

① 単一目的に従った水利用計画は、流域の容量制約及び水循環を介して、他の目的あるいは従来の水秩序に何らかの影響を与える可能性が高い。したがって、流域全体の水循環を考慮しながら、水利用に対する要請は実現される必要がある。

② 同時に、ある目的（評価指標）に従った水利用計画を流域全体の中で評価するには、多角的な評価項目のもとで検討される必要がある。

③ 従来の水資源計画では、ある目的に沿った水資源の“開発”が主として考えられてきたと思われるが、水利用率の向上してきた多くの流域では、水資源の開発の他に水資源の“配分”に関する検討が重要となってきたと解釈される。

④ 一方、水利用率の向上は、流域の水利用において上述のような量的な問題の他に、質的な問題を生じさせている。すなわち、水利用における水質の消費に関する問題、及び計画を超過するような渇水に対する水利用の安定性の問題についても検討を加えることが重要となってきている。

以上のような視点からみると、各ケース・スタディは

次のように分類される。すなわち、3.1-3.6は流域の水循環を介した相互干渉の分析と多角的な水利用のあり方について検討を行ったものである。さらに、3.7では水質消費に関する検討を、3.8においては異常渇水対策に関する検討を各々試みている。

3.1 淀川流域における適正水配分の検討

(近畿地建企画課)

流域の水需要量が増大し、供給可能量が限界に近づいた場合、限られた開発水量を便益が最大となるような水利用形態が適正水利用計画において、水資源開発と相対する計画目標といえる。そして、その方策として様々な手段が指摘されるが、なかでも水資源への配分計画は重要な検討課題として位置づけられる。

そこで、本調査は適正水配分計画立案のプロセスを、図-51に示すように捉え、淀川流域を10ゾーン、用水を農業用水、工業用水、生活用水の3用途に区分し、地域間、用途間の水資源配分に関するケース・スタディを行ったものである。

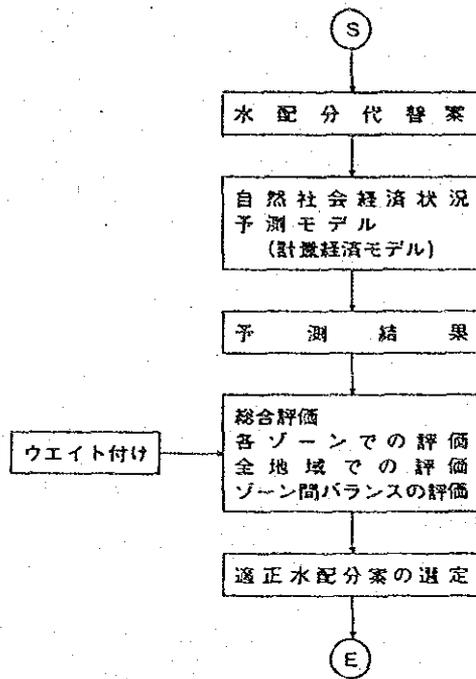


図-51 予測モデルの利用

3.1.1 水配分代替案の作成

現実の水配分は、地域間と用途間の水配分の組み合わせとして捉えられる。そこで、

- ① 地域間の配分方法
 - (i) 平均型 (ii) 上流重視型 (iii) 下流重視型
- ② 用途間の配分方法
 - (i) 現状型 (ii) 工業重視型 (iii) 農業重視型 (iv) 生活重視型

を組合わせ、計12通りの配分代替案を作成した。

3.1.2 水配分による自然社会経済状況予測モデル

上記の代替案を評価するには、水配分による流域内の自然・社会・経済的インパクトを予測する必要がある。そのため、本調査は計量経済モデルを作成し、そのなか自然環境へのインパクトとして河川への汚濁負荷量を算定するサブモデルを組み込み、操作変数として水供給量を適用した。

3.1.3 評価項目と評点システム

評価項目は多岐に及ぶが、定量的把握可能な以下のものを選択した。

- ① 自然環境へのインパクトに関する適正度評価項目
 - ……河川排水汚濁負荷量
- ② 社会環境へのインパクトに関する適正度評価項目
 - ……平均所得
- ③ 経済環境へのインパクトに関する適正度評価項目
 - ……農業出荷額、工業出荷額、商品販売額

評点は3.1.2のモデルにより予測された指標値を(0、1)に基準化し、各項目に係るウエイトを乗じた。ただし、本調査ではウエイト付けは均等に行った。

3.1.4 検討結果

検討結果の概要を図-52に示しているが、淀川流域の社会・経済カテゴリーから考えれば、[上流・工業重視型]の代替案が、反面、自然カテゴリーを考えれば、[下流・工業重視型]の代替案が適正と考えられる。

3.1.5 今後の課題

本調査における予測モデルでは水循環のみを操作変数として捉えており、土地や労働力を地域経済の制約要素として考慮していない。

また、流域全体での総合評価についても今後の課題として残る。

3.2 淀川流域における取排水システムの検討

(近畿地建企画課)

取排水に係わる各種事業計画を経て、流域の取排水システムが改変される。各種事業計画について概観すると、各事業は往々にして個別に計画される場合が多く、取排水システムの一つの構成要素であることの認識が低いといえる。そのため、取排水システムに係わる各種事業計画の評価は、図-53に示すように、

- ① 個々の事業のもつ適正度の評価
 - ② 個々の事業により具体化する取排水システム全体としての適正度の評価
- の2段階評価システムとして捉える必要がある。本調査では河川管理者の立場から②の視点で取排水システムの評価を試みることにし、淀川下流域の現況取排水システムを対象としてケース・スタディを実施した。

3.2.1 河川管理者からみた評価の視点

治水・利水・環境の河川機能の状態は河道形状とそこ

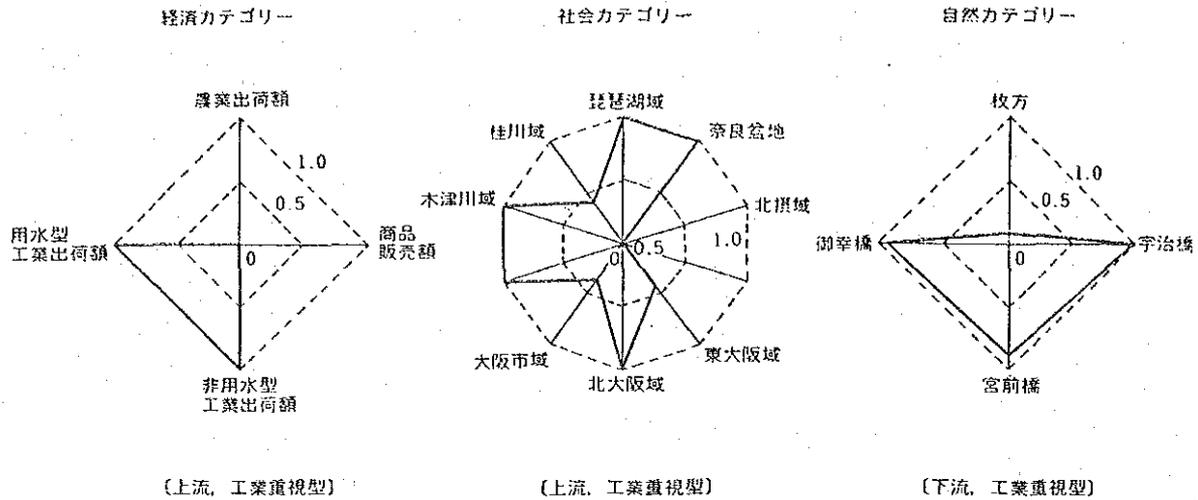


図-52 社会・経済・自然指標の評価値の一例

を流れる水の量と質により大きく左右される。取排水システムは水の流れのInputとOutputの場を河川に依存している場合が多く、河川の機能に対して直接的なインパクトを与える。取排水システムを評価するには、先ず、システムの変更が先ず流量、水位、流速、水質といった河川流況をどう変化させ、その結果、河川機能ひいては流域の社会、経済に及ぼす影響を把握する必要がある。本調査では取排水システムを評価する項目として表-20を考えた。

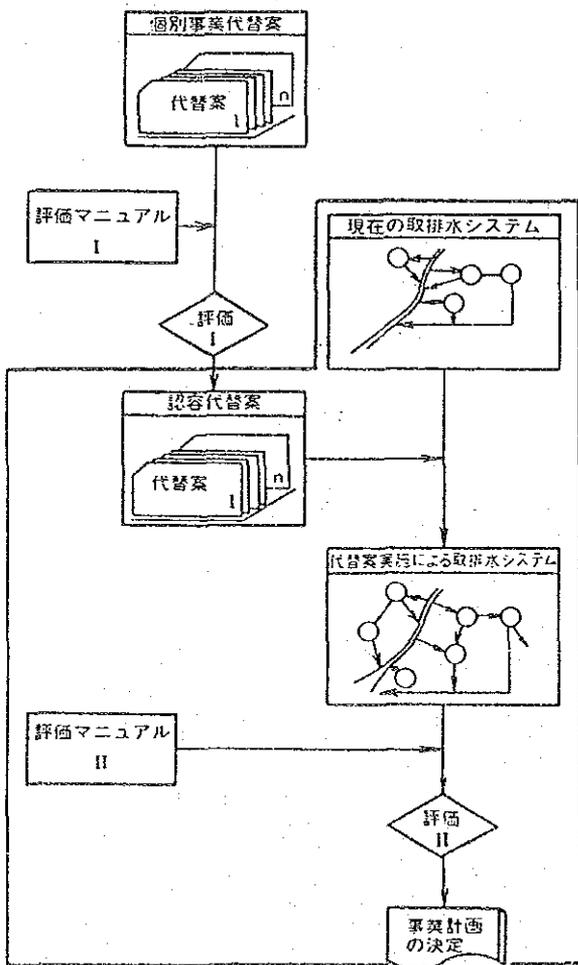


図-53 取排水システムの評価手順

表-20 評価項目とその基準

河川への二次的インパクト	評価基準
(1) 洪水の流下に支障	工作物と計画高水流量・高水位の関係を定めた技術基準
(2) 河川管理施設に障害	各部材の標準耐用年数と障害度
(3) 河口が閉塞する	閉塞状況と障害度
(4) 洗掘・滞砂が起こる	計画河床高と現況との高低差による障害度
(5) 地下水位が低下	水位低下による被害度
(6) 既得水利の取水に支障	河川維持流量(低水流量)
(7) 流水の清潔保持が困難	生活環境に係る環境基準
(8) 舟運に支障	吃水深
(9) 漁業被害が出る	生物学的水質階級
(10) 塩害の発生	塩分濃度と被害度
(11) 河川自浄機能の低下	低水流量時の平均BOD減少率
(12) 景観の悪化	BOD 10 ppmを一つの目安とする
(13) 生態系の破壊	生物学的水質階級
(14) 水辺レクリエーション価値の低下	BOD 10 ppmを一つの目安とする

3.2.2 評価への流況縦断面図の適用

淀川下流域の現行取排水システムを河道を中心としてモデル化し、河道2 kmごとの流況縦断面図を作成した。また、同時に各河道区間ごとの取水権量、水質基準、生態分布及び河川敷利用状況を調査し、評価の基礎情報とした。

3.2.3 評価の具体化

以上の基礎作業の後、評価の具体化に向け以下の作業

が必要となる。

- ① 評価項目と流況との関係をモデル化する。
 - ② 計画される取排水施設の計画諸元をモデルに組み込み流況の変化を把握する。
 - ③ 流況の変化に伴う各評価値を把握する。
- これらは、今後の検討課題である。

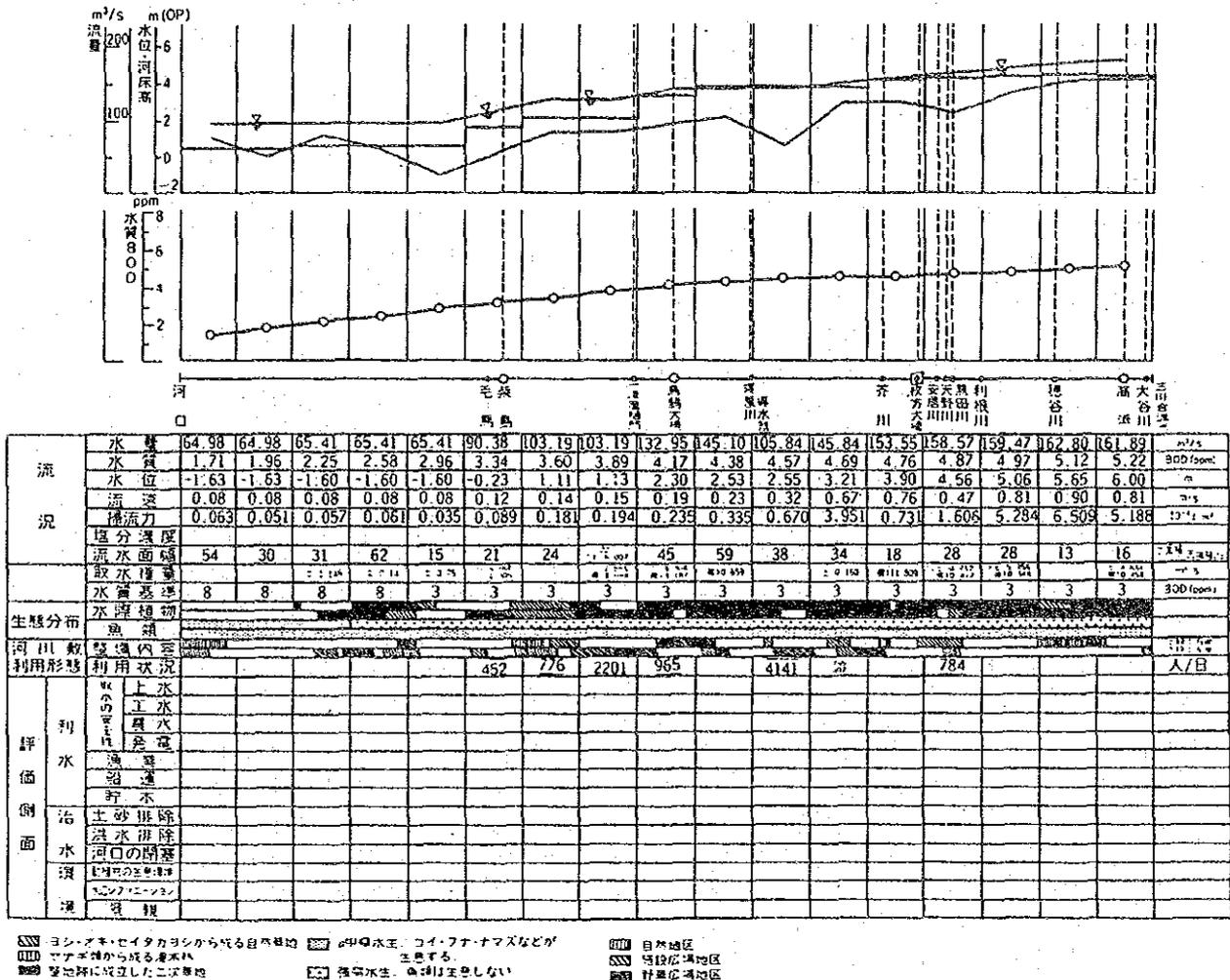


図-54 淀川下流域における流況縦断面図と評価項目

3.3 重信川流域における多角的な水利用の検討 (四国地建企画課)

3.3.1 調査研究目的

水需給の逼迫している重信川流域において、適正な水利用のあり方について総合的な検討を行った。

3.3.2 調査研究内容及び方法

(1) 流域の水需給バランス

需要に関して合理化シナリオ、供給に関しては流域内

水資源開発のシナリオを設定し、組合わせて得られる需給シナリオの中から需給バランスとコストより優位なシナリオを抽出する。

(2) 適正水資源配分

社会構造式により資源制約を受ける配分水量を社会指標空間として求め、最適化が定義できる指標よりパレート最適域を求め、指標間の競合を分析する。次に、流域の取排水システムをモデル化し、制約条件と目的関数を

表-21 昭和75年度における水需給バランス

	A 現有能力		B 将来能力		C 農水転用		D 処理水再利用		E 総 合	
	△		△				△		△	
1. 全用水徹底合理化	△ 107	134	△ 32	161	64	178	27	194	122	212
2. 生活用水徹底工業用水緩和	△ 143	129	△ 67	156	28	173	△ 9	189	87	207
3. 工業用水徹底合理化	△ 165	121	△ 90	147	7	164	△ 20	187	76	205
4. 工業用水緩和合理化	△ 201	115	△ 126	142	△ 30	159	△ 56	182	40	199
5. 生活用水徹底合理化	△ 326	103	△ 251	129	△ 155	146	△ 192	162	△ 97	180
6. 現況トレンド	△ 424	79	△ 349	105	△ 253	123	△ 271	150	△ 175	168

左側：過不足量 (10³ m³/日)、右側：コスト (億円)

設定し、多目的計画問題としてパレート最適域を求め低水流量配分図に表わす。

3.3.3 調査研究結果

(1) 水需給バランス

利水用途を松山市生活、松山市外生活、工業用水、農業用水とし、合理化の有無により、(i) 現況トレンド、(ii) 徹底合理化、(iii) 緩和型の3種について合理化シナリオを作成した。供給シナリオについては、(i) 現有能力、(ii) 将来能力、(iii) 将来能力+供給の合理化の3種をベースに設定した。需給バランスの検討結果を表-21に示す。

(2) 適正水資源配分

松山市生活用水、松山市外生活用水、工業用水を説明

変数とし、人口、商業販売額、工業出荷額を目的関数とした社会構造式を求め、水資源と宅地面積を制約条件として目的関数のパレート最適域を求め、各目的のトレードオフ関係を検討した。人口最大と商業販売額最大のトレードオフはわずかであり、工業出荷額最大は他の二つとトレードオフの関係が顕著であった。また、制約条件として水量の連続条件、負荷量の連続条件、施設能力条件、合理化条件、需要量条件、供給量条件、コスト条件を設定し、目的関数として社会経済活動(流入人口最大)、環境インパクト(海域流入BOD負荷量最小)、施設コスト(利水施設コスト最小)を設定して求めたパレート最適域を図-55、56に示す。このパレート域中で各目的の満足水準、許容水準を与え、目標計画法により最適解を

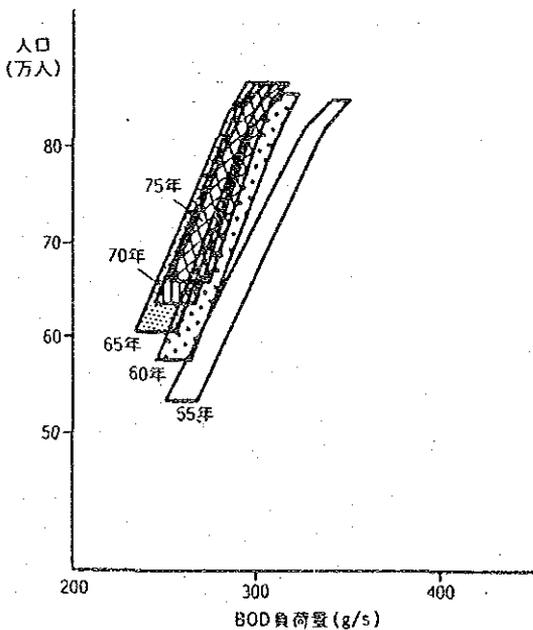


図-55 人口とBOD負荷量に関するパレート域

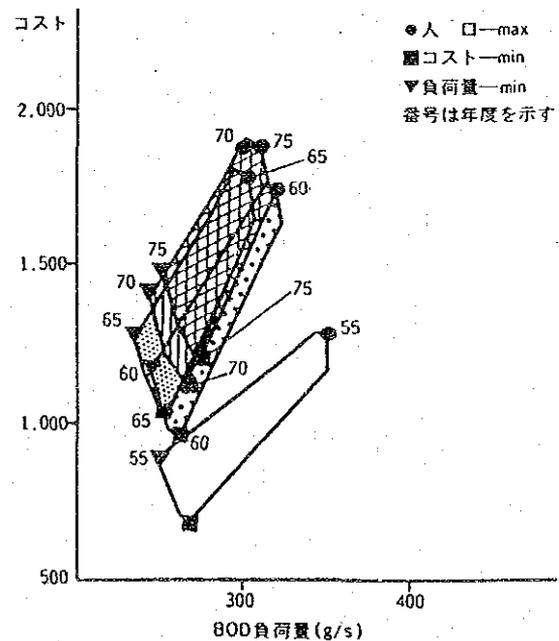


図-56 BOD負荷量とコストに関するパレート域

求めた取排水系統図を図-57に示す。

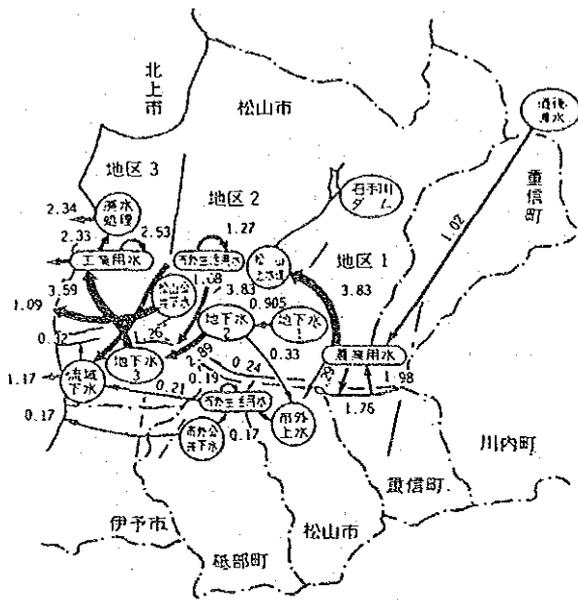


図-57 取排水系統図 (GP解・75年)

3.3.4 今後の課題

本調査は多角的な検討を行う方法論を中心に検討を進めた。その結果、水利用率の向上と共に各指標間トレードオフが生じ、単一目標だけでなく流域全体を考えた水利用計画を考える必要性が認識された。しかし、本調査では定性的な結果を得たにすぎず、行政面への反映については今後さらに調査を進め、ケース・スタディの積み重ねが必要である。

3.3.5 参考資料

昭和54年度 重信川適正水利用計画調査業務報告書

3.4 荒川流域における適正水利用計画の検討 (関東地建企画課)

本調査は、水コストという観点からみて、流域の土地利用及び水利用を最適化 (水利用コスト最小) した場合に、他の土地利用パターンで水利用を最適化した場合よりもどれだけ水コストを節約できるかということ荒川流域 (秋ヶ瀬上流域) を対象として、一河川多都市型水利用システムを前提にモデルの検討を行った。

モデルの概要は以下の通りである。

(1) 目的関数

水関連コスト = 水資源開発コスト + 水供給コスト + 合理化コスト + 節水コスト + 下水処理コスト

モデルの目的関数は、水利用に関連するトータルコスト、すなわち、水資源開発から下水処理までの水関連コストである。これを最小化することを目的として線型計画法により最適解を求めた。

(2) 政策変数

政策変数としては、水利用主体であるフレームの地域間配分、及び水利用主体の水利用形態である水利用合理化のレベル、下水処理レベルなどが挙げられる。

これを別々の政策変数とすると線型性が保てないので、各レベルごとのフレームの大きさを一つの政策変数とした。

(3) 制約条件

制約条件としては、①フレーム制約、②水量制約、③水質制約、④土地利用制約、⑤雇用制約を取上げた。

フレーム制約としては、流域トータルに収めなければならないフレーム (人口、工業出荷額、就業就学人口、牛、豚、田、畑) の規模と構成を定めた。水量制約においては、取水点において河川に濁水流量がある限り、濁水流量までは取水することができ、また、排水によって還元した水量は下流で取水することが可能であるとした。

また、水質制約は環境基準を満たしているかどうかのチェックであり、取水によって汚濁負荷量は減少しないものとした。土地利用制約は、土地利用を都市的土地利用と農業的土地利用に分け、この土地利用可能面積を超えた土地利用はできないものとした。雇用制約は、産業、人口の空間的バランスを考えたもので、流域の生活圏を超えて通勤・通学する人口の総就業就学人口に対する比率は一定割合を超えないものとした。

表-22 シミュレーション内容

No	シミュレーションの内容
1	基本となる昭和50年フレームによるシミュレーション
1'	昭和65年フレームによるシミュレーション
2	家庭用水・工業用水・都市活動用水の取排水原単位を一律2倍にした場合
3	汚濁負荷量原単位を一律1.5倍にした場合
4	中水道コスト原単位をより高く見積った場合
5	新規水資源開発コストを2倍に見積った場合
6	水質基準を1ランク厳しくした場合
7	水質基準を1ランク緩くした場合
8	人口、工業出荷額、就業就学人口を1.5倍にした場合
9	人口、工業出荷額、就業就学人口を2.5倍にした場合
10	人口、工業出荷額、就業就学人口を4倍にした場合

これらのモデルを用いて検討を行うため対象地域を4生活圏8ブロックに分割し、模式的に示したものが図-58である。

表-22の11ケースのシミュレーションの結果を要約すると、最適な土地利用パターンは、現在の土地利用に比べて大きく異なるにもかかわらず、その機会費用すなわち水コストの差は小さく、トータル水コストの数%以下というオーダーであった (図-59参照)。

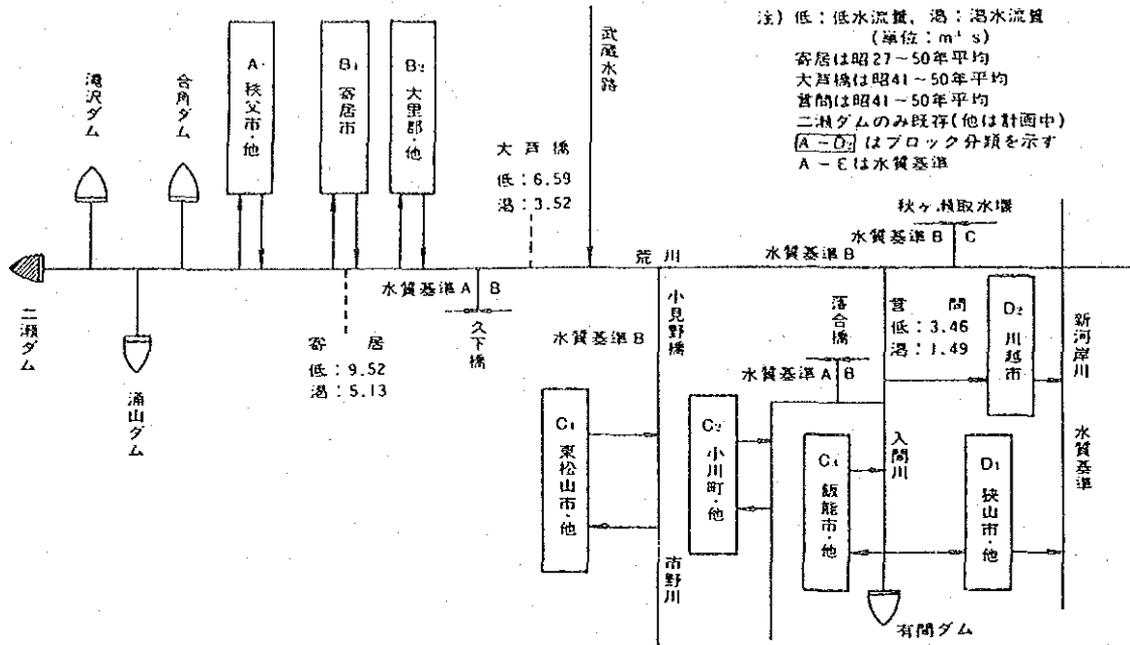


図-58 流域模式図

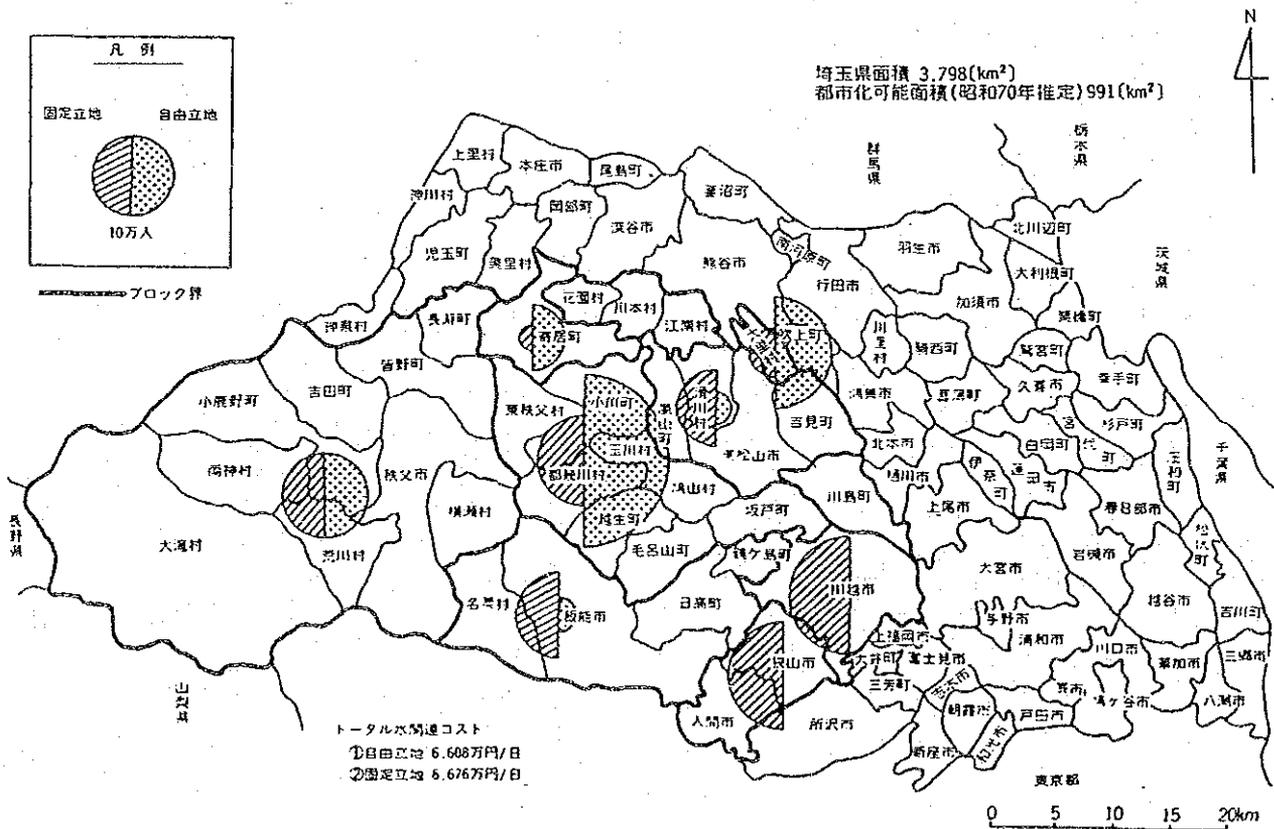


図-59 50年フレームにおける自由及び固定立地モデルの最適立地(人口)

ただし、本調査方法においては、ブロック分割の結果への影響が吟味されておらず、コスト関数が単純（特に立地によるコストの差を取込んでいない）であるなど多くの問題が残され、今後、モデルの精度の向上が必要である。

3.5 荒川流域における水質面からの水利用の検討
（関東地建企画課）

本研究は、流域における水利用について、特に水質という視点から、流域利用、特に土地利用などとの関係を調査検討し、今後の流域利用の方向次第で、どのような利水上の問題が発生するか、どのような対策が必要かなどについて理解を深め、適正水利用計画の立案に役立てようとしたものである。

水質の安全性の指標としては河川に占める都市排水の混入率（以下排水混入率）により表現し、流域の利用状況は土地利用密度により表現することとして以下のように定義した。

$$\text{排水混入率(\%)} = \frac{\text{排水量}}{\text{低水流量}} \times 100$$

$$= \frac{\text{排水量}}{\text{基底低水流量} + \text{排水量} + \text{下流ブロックのための開発水量}} \times 100$$

土地利用密度

$$= \frac{\text{住宅用地面積} + \text{都市事業所用地面積} + \text{工業用地面積} + \text{都市的利用道路面積}}{\text{都市化可能面積}}$$

都市化可能面積 = 可住地面積

— 必要農地面積（水田 + 畑）

$$\text{可住地面積} = \text{水田面積} + \text{畑面積} + \text{宅地面積} + \text{可住地内道路面積}$$

$$\text{住宅用地面積} = \text{住宅用地原単位} \times \text{人口}$$

$$\text{都市事業所用地面積} = \text{都市事業所用地原単位} \times (\text{非工業就業人口} + \text{就学人口})$$

$$\text{工業用地面積} = \text{工業用地原単位} \times \text{工業出荷額}$$

調査の対象地域は、荒川・利根川中流部（埼玉県）とし、取排水の実状、上下水道計画などを考慮し、図-60に示す8ブロックに分割した。

流域全体の人口などのフレームが決まり、用地・用水原単位などが決まったとしても、ブロック別にフレームをどのように配分するかにより、ブロック別の土地利用密度、地点別排水混入率は大幅に異なることになる。こうしたことから、ブロック別の開発パターンには様々なものが考えられるが、ここでは、以下の三つの指標を重視し、昭和70年を見つめた四つの開発パターンを設定した。

- ① 土地利用密度……都市化可能面積内における土地利用の割合を示す指標。
- ② 住宅用地原単位……住環境の良否の判定指標。
- ③ 排水混入率……水源水質の安全性を示す指標。

それぞれの開発パターンの特長と排水混入率を求めた結果の概要を表-23、24に示した。このような検討結果から、今後Ⅰ案かⅡ案かの選択が重要な課題となろうが、Ⅰ案は排水混入率がさほど悪くならないこと、実現の可能性が高いことなどから、今後のフレーム配分の基本方

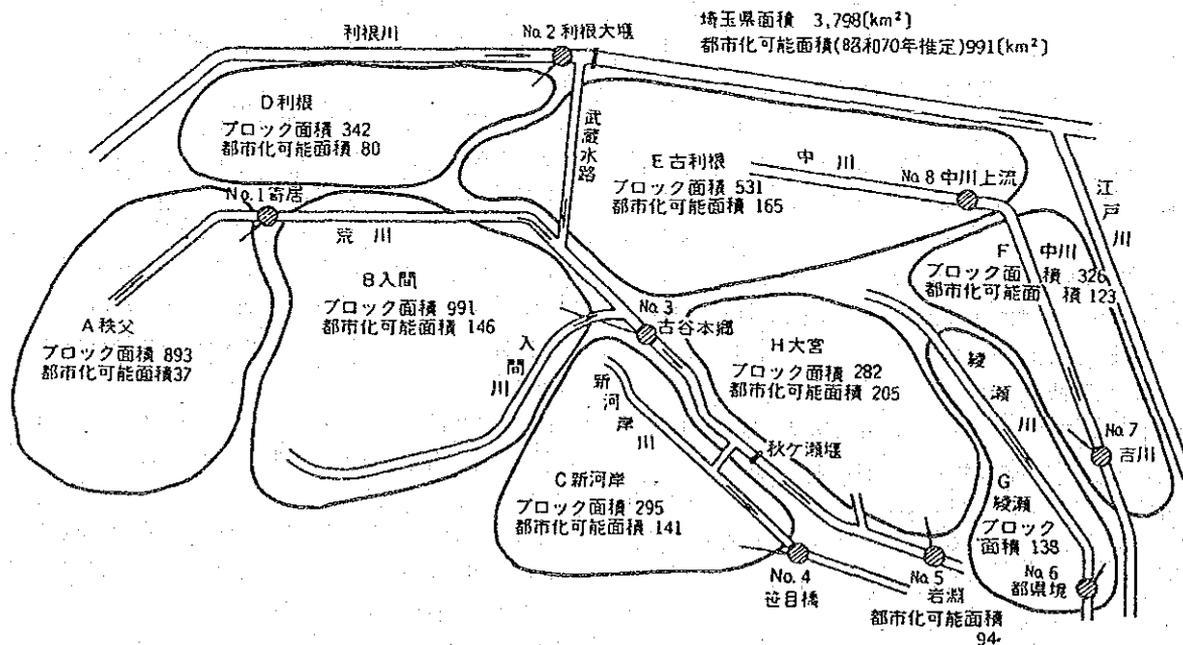


図-60 適正流域利用のためのブロック分割(排水混入率検討地点)

表-23 開発パターンと排水混入率の関係

開発パターンの区分	開発パターンの特長	各パターンにおける土地利用と排水混入率
<ul style="list-style-type: none"> 開発パターンⅠ…… (現状推移、各ブロック) (詰込み型) 	<p>現状推移でフレームが配分された場合(ただし、土地利用密度が100%となったブロックでは、住宅用地原単位を縮小する)。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 各ブロックともフレームの増大に相まって、土地利用密度が高くなり、70年時点で土地利用密度がC、F、Gの3地域は100%に達する。これらブロックの住宅用地原単位は、県平均74m²/人(50年現在)の約2/3程度となるが、50年時点のこれら3ブロックの住宅用地原単位と大差なく立地が不可能であるとはいえない。 排水混入率をみると、70年時点では開発水量の増加による稀釈があり、No.3地点で13.7から15.8%と微増するだけで余り問題にはならない。
<ul style="list-style-type: none"> 開発パターンⅡ…… (現状推移、各ブロック) (詰込み型) 	<p>現状推移でフレームが配分された場合。ただし県平均の住宅用地原単位を前提として土地利用密度が100%になった場合、ブロック内に入りきれなかったフレームを用地にゆとりある他ブロックに分散配置する。 既存市街地の再開発は行わないものとしている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 開発パターンⅠと比較すると、土地利用密度は、B及びEブロックで若干上昇するだけでフレームを吸収できる。 排水混入率は、No.7地点で4.6%、No.8地点で6.9%上昇する程度で大幅な変化はない。
<ul style="list-style-type: none"> 開発パターンⅢ…… (排水混入率重視、増加フレーム下流しわよせ型(住宅用地原単位だけを縮小する)) 	<p>取水上重要な地点の排水混入率を将来悪化させないために、その地点の混入率に影響を与えるブロックのフレームの増加を認めずそのフレーム増加分を他ブロックにしわよせ配分する。その際、しわよせを受けたブロック内住宅用地原単位は土地利用密度100%を前提として縮小させる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> この開発パターンでは、上流の各ブロック(A、B、D、E、F)で50年以降のフレームの増大を認めないため、これらブロックでは土地利用密度が50年のままとどまる。しかし、C、H、Gの各ブロックで増加分を引受けるため、住宅用地原単位は27m²/人となりかなり厳しい住環境となる。 その結果排水混入率はNo.1、及び3で改善効果が大きく、No.4、5、6では水質が悪化し、排水河川の性格を強める。
<ul style="list-style-type: none"> 開発パターンⅣ…… (排水混入率重視、増加フレーム下流しわよせ型(既存住宅も含めて住宅用地原単位だけを縮小する)) 	<p>開発パターンⅢと同じ。ただし、しわよせを受けたブロック内では、既存住宅の半分が50年から70年の20年間に住宅の建替えをするものとし、これらの住宅も含めて新規立地分の住宅が都市化可能面積内に用地原単位を縮小して立地するものとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> この開発パターンはⅢの変形したものであり排水混入率、土地利用密度に変化はみられないが、新規立地の住宅用地原単位がC、H、Gの各ブロックでパターンⅢの27m²/人に対して36m²/人と改善される。 この開発パターンは実現の可能性が非常に低いといえる。

針にならざるを得ないものと思われる。また、その場合重要取水地点の排水混入率改善のために、Ⅲ案の考え方を取入れたⅠ案とⅢ案の折衷案も考えられる。一方、排水混入率改善のためには、流域下水道等によって排水が重要取水地点に入らないようにバイパスさせる水利用システムによる対応も有効な手段となると考えられる。なお、将来時点で排水混入率が著しく増加しないのは、上流ダム群による大量の開発水量を見込んでいるためである。ダム開発が遅れ、フレームの増大に伴う水需要の増大を他の水資源開発で補うような場合には、排水混入率の増大による水質の悪化に留意する必要がある。

3.6 芦田川流域における再生水資源計画に関する検討 (中国地建 福山工事事務所)

3.6.1 調査研究目的

中国地方の瀬戸内海沿岸部では都市用水の需要が増大し、河川水の利用率は50%を超す地域があつて渇水に対する危険度は非常に高くなっている。一方今後の需要増に対して、この地域では新規ダムによる水資源開発は困難な状況にあつて、これに対応する施策として下水の再利用とダムの総合運用効果を検討した。

3.6.2 調査研究内容及び方法

(1) 下水処理水の再利用……下水を高度処理して河川

へ還元し河川水と相まった新たな水資源開発を検討した。

構想モデルを図-61に示す。河口部の下水処理場の排水を再生利用上、必要とする時に高度処理を行った後、主要な上水が取水されている地点の下流へ圧送して河川へ還元する。還元を必要とする期間は河川水が少なく新規の取水ができない時に間欠的に行い、河川水が多い時は河川水を利用する。還元可能量は河川環境基準の制約を受けるため無制限でなく、BODを指標とする。検討内容は高度処理場の処理レベルを、3ppm、5ppmと二通り、また、現在中流で取水中の工水を下流に移し、河川流況を改善した場合及び、現況の二通りを想定し各々還元可能量を推定し図-62に結果をまとめた。この還元量が新規開発量となる。下水再利用と他の代替手段との比較は開発水の質的な差があり単純に評価はできないが、開発量と単価の比較を図-63に示す。比較ダムは水系内に想定したものであるが詳細な検討はしておらず一つの目安にすぎない。

(2) ダムの統合運用効果……モデル流域には利水容量をもつダムが図-61に示すように直列状態にあり、各々のダムの利水は建設順位に従って各々の利水目的ごとに補給運用されている。これを各々単独に操作しないで統合運用した場合の効果を検討した。具体的には貯水池の

回復順位が現在、A、C、Bの順になっているのを上流から順にA、B、Cとし、補給は下流のダムから行うことにする。また、工水の取水点を一部下流に変更し、全取水量の割合が現況で中流70%、下流30%に対し、変更後は中流40%、下流60%とした場合についても検討した。

効果については利水基準年における開発量の変化と近年の21年間の流況で起こる確保不足量の変化で評価した。

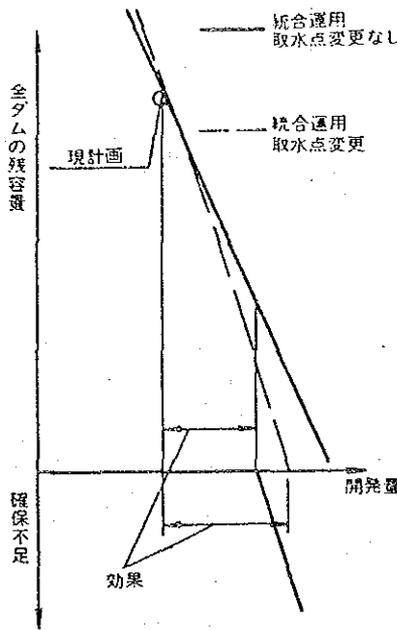


図-64 統合運用効果 (開発量による検討)

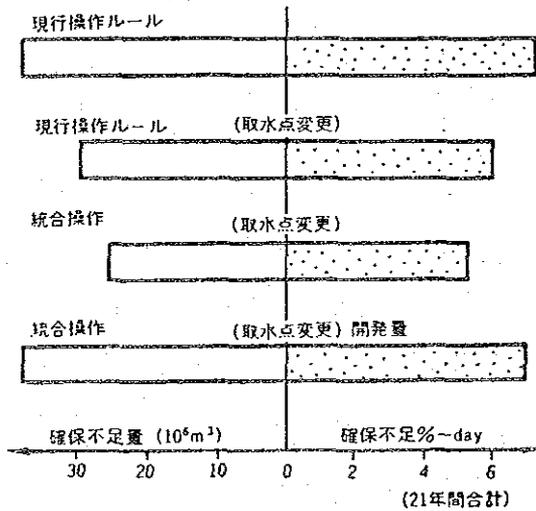


図-65 統合運用効果 (不足量による検討)

3.6.3 結 果

適切なダム候補地が稀少となった状況で、今後の水資源としての下水の再利用は期待が大きい。水利用形態を利水目的に合った質と量で確保するように再編すること

によって下水再利用による開発は効果が大きくなる。

また、ダムの統合運用については余剰水の量に期待するよりも利水の安全度向上のための施策として位置づけられたほうが現実的で、近年の21年間の流況では確保不足量が約30%減少し安全度向上の効果が期待できると思われる。

3.7 水利用における水質の消費と復元に関する検討 (関東地建企画課)

水利用の本質を消費という概念で捉えると水量消費、水質消費、位置エネルギー消費の三つに分類することができる。都市における各種の水利用形態は、水量消費もさることながら、水質消費的意味合いが強くあらわれている。水量消費・水質消費の効用は、利用者の利用実態により様々であり定量化は極めて難しいが、実用的には何らかの形でコスト積算することが望まれる。本研究では、劣化した排水水質を利用に耐え得る水質に復元すべくためにかかる費用をもって、水質復元コストとみなし、その定量化を試みた。

一般に排水をある水質基準にまで浄化する費用は、配管コストと、水処理コストに大別される。水処理コストの費用構成は、建設費と運転費に大別され、さらに建設費は機械設備費と土木工事費に細分される。運転費は電力費、薬品費、人件費に細分される。

また、水処理コストに影響を与える要因は (i) 排水水質、(ii) 排水量、(iii) 処理目標水質の三つが考えられ、水質項目としてBODだけに着目した場合、水処理コストは原水水質(濃度)が悪く高くなり、水量規模が多くなれば安くなる。各々の要因の増減がコストに与える影響についてみると、処理水量規模の増減よりも原水水質及び処理水質の増減のほうが処理コストに与える影響は大きい。

水質復元コストは、上流のどの用途の排水をどの用途に利用するかによってかなり相違があるが、ここでは生活排水を生活用水として再利用すると仮定した場合の水質復元コストを検討した。

要求水質は、原水基準に記載されている水質項目について、汚濁が進んだ河川において高度な浄化操作で処理できる限界を示すとされている上水原水基準3類を設定した。また上水原水基準に含まれていない水質項目であっても、健康に影響を及ぼすおそれのある項目として、病原微生物(ウイルスなど)、微量合成有機塩素化合物(トリハロメタンなど)を考慮することとし、水処理過程での処理レベルを厳しく設定した。

生活排水の水質復元コストを算出するため、生活排水をし尿・雑排水・下水の3種類に区分し、それぞれについて水処理機器メーカーの資料などを参考にして、水質復元コスト(配管コスト含まず)を求めたその結果の一例として下水の場合を図-66~68に例示した。図-66は

処理レベルごとの処理効果を、図-67は処理コストを、
 図-68はそのコストの内容を各々表わしたものである。

このようにして試算した結果を排水処理システム別水
 量規模別に整理した結果を表-25に示す。この表から、

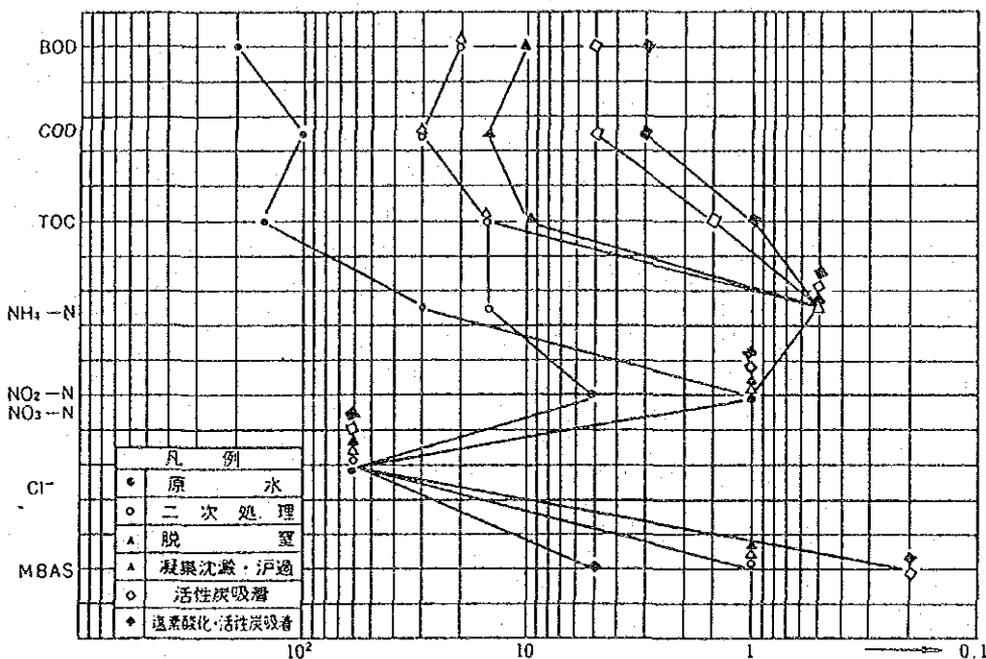


図-66 処理水準別処理効果 (下水処理)

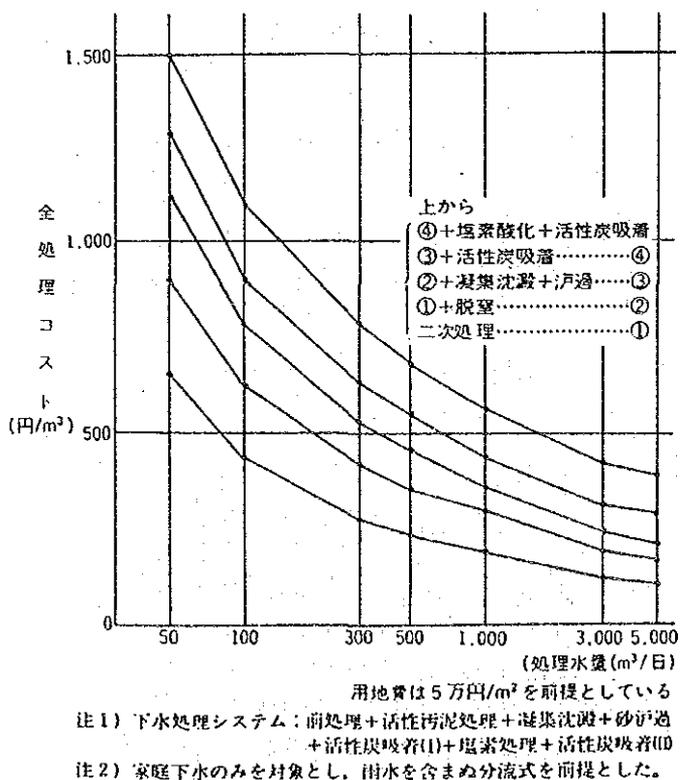


図-67 プロセス別水量規模別トン当りコスト (下水処理)

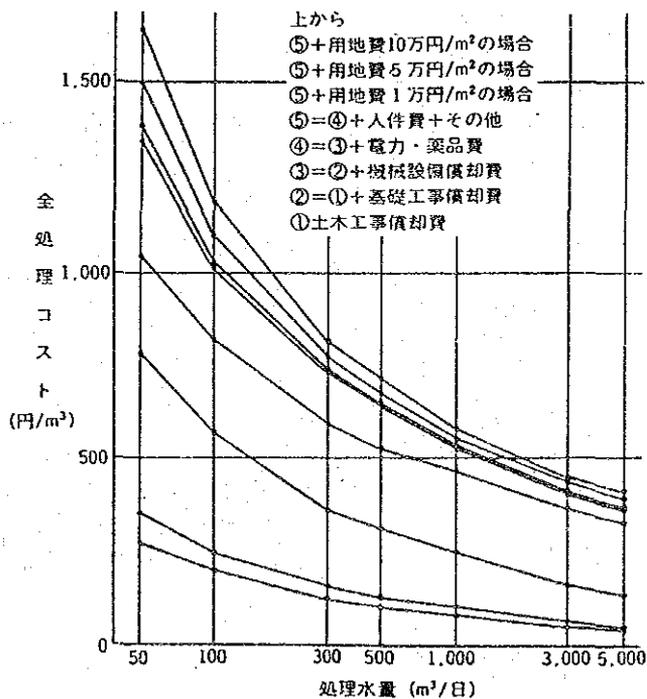


図-68 費目別水量規模別トン当りコスト (下水処理)

1 m³当りのコストを知ることができ、ダムなどによる水量開発に浄化施設などを考慮した費用と比較するとコスト高になるといえる。また、水利用における水量消費について還元率などを勘案して、水質消費とのコスト比較を試みると水質消費に多大なコストがかかると考えられる。また、水処理に当って、河川の有難さという面から捉えると、図-69の稀釈倍率別河川水質別水処理コストの試算結果に示すように河川水の稀釈効果はかなり大きいといえよう。

表-25 排水処理システム別水量規模別コスト
単位：円/m³ (%)

処理区分 水量規模 (m ³ /日)	し尿処理	雑排水処理	下水処理
25	17,797 (100) *1	-	-
50	15,421 (87)	1,044 (100)	1,502 (100)
100	12,743 (72)	808 (77)	1,099 (73)
150	11,539 (65)	716 (69)	-
200	10,953 (62)	671 (64) *2	-
300	-	-	777 (52)
500	-	-	681 (45)
3,000	-	-	423 (28)
5,000	-	-	384 (26) *3

注) 用地費5万円/m²の場合(輸送コスト、配管コストは含まず。

- * 1 2万人相当規模
- * 2 1,000人相当規模
- * 3 2万人相当規模

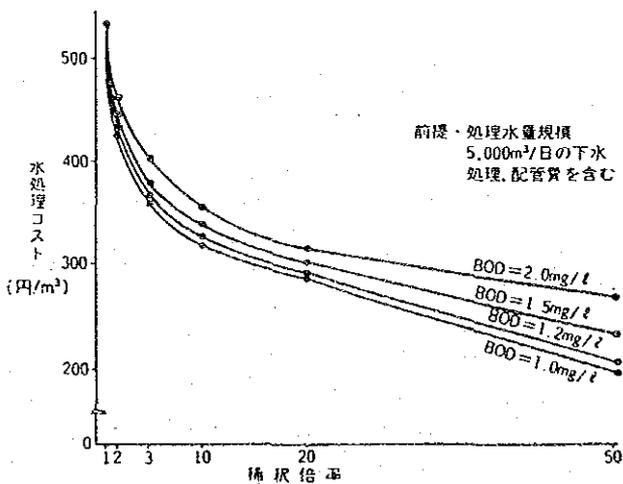


図-69 稀釈倍率別河川水質別排水処理コスト

3.8 異常洪水対策に関する検討

(中部地建、木曽川上流工事事務所)

3.8.1 調査・研究目的

現在の水資源開発は、総合的観点からその供給の安全度はある水準のもとで評価(1/5~1/10)され計画されている。近年の洪水は今や一つの社会問題と化しつつあり、その傾向はさらに顕著化するものと考えられる。ここでは異常洪水(対象計画年以上)に対して、被害が最小となる水配分システムの策定方法を検討し、適正水利用計画の一環として位置づけることとした。

3.8.2 調査研究内容及び方法

調査の全体的なフローチャートを図-70に示す。各調査項目の検討内容は以下の通りである。なお、ケース・スタディ2についてはダム容量に不足を生じさせないような節水方式を求め、次に洪水被害が最小となるような用途別節水率を求めることにした。

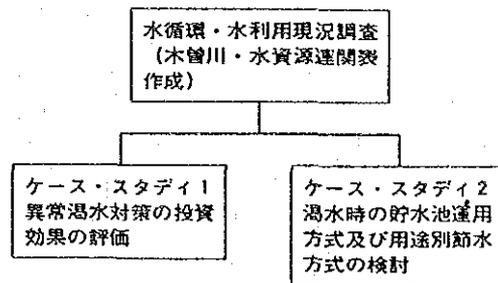


図-70 全体フローチャート

(1) 水資源連関表の作成

水系の水循環、水利用の現況を把握するため、ブロックごとの水資源連関表(10ブロックに分割)及び水利用模式図を作成した。

(2) 節水被害の計量化

各々の用水に対して他地域の既往調査によるWP水価方式による節水被害を参考にした。

(3) 需要シミュレーションモデルの検討

需要シミュレーションは、地区内で需要量を計算するブロック内モデルと河川より必要水量を取水する河川モデルから行った。

(4) 目的関数及び最適化手法の検討

異常洪水に対して節水被害額を最小化するものとし、そのための各用水の節水率を非線形最適化手法の一種であるコンプレックス法を用いて求めた。

(5) 異常洪水対策事業の投資効果の分析

上記のモデルを用い、異常洪水時の対策施設として、既設ダムのほか、新規ダム、流況調整河川などを設定して、その効果を分析した。その検討ケースを表-26に示す。

(6) 洪水時の貯水池運用方式及び用途別節水率の検討

表-26 検討ケース

ケース	既設ダム	施設計画
1	K、Lダム	—
2	〃	Aダム+Bダム
3	〃	D流調河川
4	〃	ケース3+J再生水
5	〃	ケース4+C貯水池
6	〃	ケース5+他目的ダム買取り

ダム容量に不足を生じない範囲内で各種無降雨期間内の最適節水率と節水被害額を算定した。

3.8.3 調査研究結果

(1) 異常洪水対策の投資効果の分析結果を表-27に示

表-27 被害額及び施設経費

ケース	節水率 (%)					被害額 (億円)	先行投資的経費 (億円)			
	工業	家庭	業務1	業務2	農業		年経費		運転費	計
							資本費	管理費		
1	4.75	21.91	0.43	0.15	13.50	17.1				
2	0	0	0	0	0	0	54			54
3	4.40	21.96	3.35	0.59	12.89	16.8	2			2
4	0.20	21.89	0.16	0.36	9.79	2.3	2+26	1	43	72
5	0.02	21.98	0.21	0.11	7.45	1.3	2+26+2	1	44	75
6	0	0	0	0	0	0	2+26+2	1	47+0	78

4. おわりに

ここで紹介したケース・スタディは、対象とした個々の流域の水資源管理における懸案事項及び水循環、水利用上の特質といった流域特性に着目あるいは立脚したものである。そのため、提案された多くのモデルが、他の全ての流域にそのままの形で適用できるというものではない。しかし、これらケース・スタディにおける問題へのアプローチ方法並びに作成されたモデルを適切に組合

す。これは洪水の発生確率なども考慮した昭和48年1年間におけるものである。

(2) 洪水時の貯水池運用方式及び用途別節水率の結果を表-28に示す。節水をしない場合に比べ本モデルの節水を行った時の被害軽減効果は大であることが明らかとなった。

3.8.4 今後の課題

投資事業の効果分析については、貯水池の残容量、流量確率など、既知の管理指標との関連をどのようにして作成するか、また、貯水池運用方式及び用途別節水率については、WP水価方式による被害の計測について、水利用者側への了解と波及効果の算出などが今後の課題として残されている。

わせることにより、各流域における今後の望ましい水資源管理のあり方を探究するに際して、何らかの有益な示唆あるいは情報が得られるものと考え。さらにモデル河川においても、今回のケース・スタディの結果明らかとなった問題点を踏まえ、さらに現実的な調査研究を積み重ねていきたいと考える。

最後に、本研究を進めるに当たって現地調査・解析を担当された各地方建設局及び北海道開発局の各位に深甚なる謝意を表したい。

夏季(8/1~)の場合(節水量: % 被蓄額: 億円)

表一28 用途別の最適節水量

ダム容量 (万m ³)	無降雨期 用水回	5日		7日		10日		15日(1/2)		20日(1/10)		25(1/30)		30日(1/100)		40日		50日	
		節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額	節水量	被蓄額
Kダム 500	I. 水	32.0		56.4															
	家庭	41.9	(326)	75.0	(509)														
	菜 1	7.9	120	67.5	322														
Lダム 500	農水	80.0		80.0															
	I. 菜	23.2		24.4															
	家庭	32.6	(199)	33.0	(380)	41.9	(655)	72.3	(1,114)										
〃 1,000	菜 1	2.5	54	6.7	117	7.9	241	63.9	932										
	農水	60.7		71.5		80.0		80.0											
	I. 水	19.8		20.6		29.0		32.0		38.8									
〃 1,500	家庭	24.1	(139)	28.5	(272)	33.0	(530)	41.9	(988)	70.3	(1,447)								
	菜 1	1.1	20	4.0	67	4.7	158	7.9	361	37.2	816								
	農水	43.0		58.7		69.9		80.0		80.0									
〃 1,500	I. 水	10.0		19.9		23.2		30.9		32.0									
	家庭	23.7	(73)	25.0	(206)	32.6	(405)	33.0	(858)	41.9	(1,317)	64.5	(1,775)	72.3	(2,234)				
	菜 1	1.4	5	2.8	34	2.5	107	3.2	270	7.9	482	12.9	876	63.9	1,860				
〃 2,000	農水	26.0		45.4		60.7		73.1		80.0									
	I. 水	0.9		13.3		19.6		30.1		31.0									
	家庭	17.0	(7)	24.0	(139)	26.6	(339)	33.0	(727)	33.0	(1,185)	41.9	(1,644)	59.4	(2,102)	73.7	(2,715)		
〃 2,500	菜 1	0.5	0.2	0.3	13	1.6	70	16.8	212	2.7	386	7.9	602	26.0	952	72.0	2,690		
	農水	10.2		33.3		52.1		66.8		75.1									
	I. 水	0		10.0		19.8		23.2		29.0									
〃 3,000	家庭	0	(0)	23.8	(73)	24.1	(272)	32.6	(604)	33.0	(1,053)	33.0	(1,511)	41.9	(1,970)	67.6	(2,583)	74.9	(3,687)
	菜 1	0	0	1.1	4	1.1	41	2.5	161	4.7	316	3.8	503	7.9	723	36.7	1,490	79.6	3,650
	農水	0		0.2		2.6		6.5		9.8		10.0		0.5		28.5		79.7	
〃 3,000	I. 水	0		21.0		43.0		60.7		69.9									
	家庭	0		21.0		43.0		60.7		69.9									
	農水	0		21.0		43.0		60.7		69.9									

注) 被蓄額 上段() 中は、節水なしの場合の被蓄額。