

水配分の適正化に関するモデル分析

日本水道コンサルタント 正員 萩原 良巳
同 上 正員 渡辺 晴彦

1. はじめに

水配分問題に関する研究は、1960年代に、資源地と利用者間の水輸送を中心に、その合理化を考えるものに始まっている。この場合の水配分とは、開発水量と需要水量については既知とした中で、コストミニマムの評価による輸送問題としてモデル化されている。その後、需要水量によって利用者がどのようなアクティビティを形成し、水利用の結果としてどのような生産・発展に結びつけるかという点を考慮し、いわゆる経済効果の最大化を狙うような水配分問題を取扱うことが要請されてきた。そして、現代では、もう1つの水利用の結果としての使用排水の環境に与えるインパクトについての検討を含めた形での水配分が研究対象となっている。¹⁾

一方で、水配分は、今日、水環境計画における主要な制御要因として位置づけられ、水配分を評価することは、その水配分が水環境にどのようなインパクトを与えるかを評価することであると考えられること²⁾。このとき問題となるのは、評価の方法、具体的には、評価項目である。最適化モデルに関していえば、どのような手法を用いるかを含め、何を目的関数とし、何を制約条件とするかということである。このためには、まず、流域にとって適正な水配分とは何であるか、すなわち適正概念が必要となると思われる。

さらに、先に述べた水配分研究の経緯が示すように、水配分問題自体の設定のしかた、つまりは分析の視点により、適正概念を適宜取捨選択して定式化するべきであろう。とりわけ、筆者らが強調したいのは、最適化モデルは、あくまで、最大化・最小化を行うものであり、そのような評価に適用しない項目も適正概念に含まれるときの取扱い方に注意しなければならないということである。その意味では、水配分自体のとらえ方として、どのようなものがあるかの整理を求められているといえよう。

本研究は、水配分のモデル分析による取り扱いに関して、評価の方法を考察したものである。まず、評価項目を選ぶ基本としての適正概念を設定した後、水配分として、どのようなタイプが存在するかを考察する。次に、その中の1つのタイプをとりあげ、最大・最小化の評価には該当しない評価項目の取り扱い方について、ケーススタディを通して検討する。

2. 評価項目の構造化と適正概念の形成³⁾

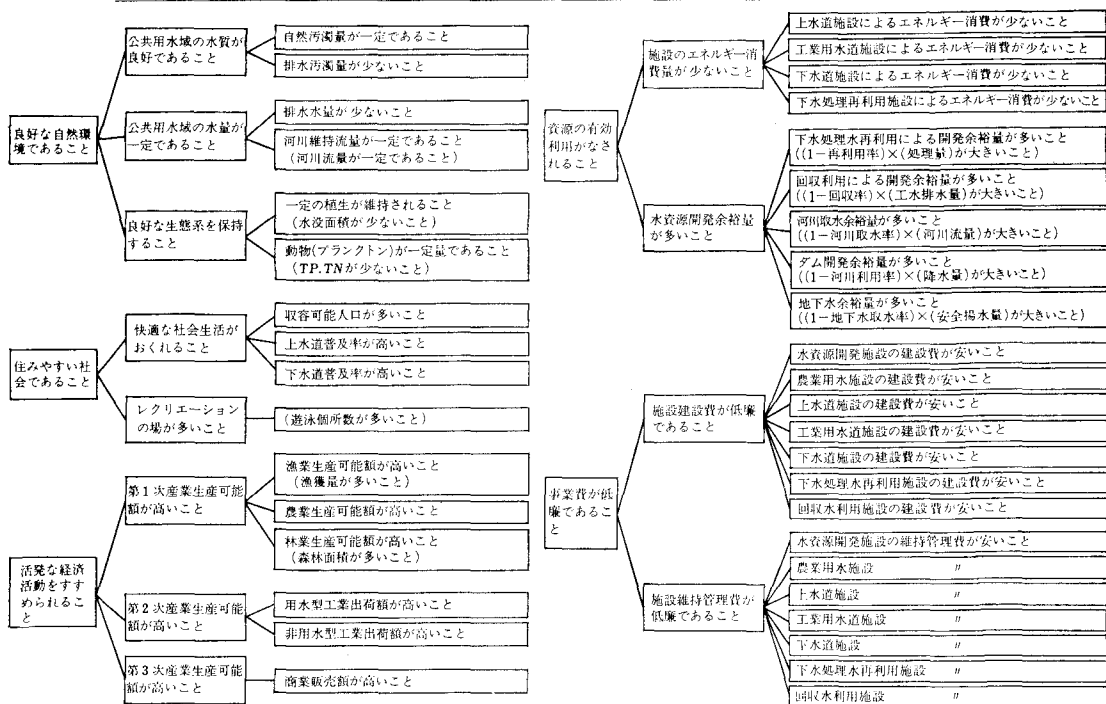
1つの水配分案に対し、それが水環境にとり適正かどうかをみる場合には、種々の観点から総合的に考えていく必要がある。この場合、種々の観点とは、評価する者の目的・立場により、多様性を帯びざるを得ない。したがって、人がかわれば、観点がかわり、適正かどうかもかわってくることになる。しかし、人がかわっても残りつづけるものもあることから、本研究では、まず、このような評価項目を中心にした、基本的評価システムの形成をめざした。

ここでいう、評価システムの形成とは、種々の評価項目の列挙とその構造化による概念の整理を指すものであり、WarfieldのISM手法⁴⁾を用いている。まず、グループ討論の結果、表-1に示す54項目を得た。次に、因果関係・包含関係・同一関係による項目間の2項行列を求め、それにもとづいて、レベル分割を行い、項目に述語を加えて、図-1に示す適正概念の図、すなわち、基本的評価システムを得た。

しかしながら、この適正概念は、評価項目として、規範的なものを網羅しただけであり、実際の水配分評価においては、水配分自体の時空間的とらえ方の違いにより、取捨選択して使用する必要があることは言うまでもない。

表一 水資源配分計画のための評価項目

項 目	項 目	項 目	項 目
1. 自然	19. 第2次産業における生産可能額	37. 地下水取水余裕量	61. 事業費
2. 公共用水域の水質	20. 第3次産業における生産可能額	38. 事業費	62. 建設費
3. 公共用水域の水質	21. 漁業における生産可能額	39. 建設費	63. 維持管理費
4. 生態系	22. 農業における生産可能額	40. 維持管理費	64. 水資源開発施設の建設費
5. 排水汚濁量	23. 林業における生産可能額	41. 水資源開発施設の建設費	65. 農業用水施設の建設費
6. 自然汚濁量	24. 用水型工業における生産可能額	42. 農業用水施設の建設費	66. 工業用水道施設の建設費
7. 排水水量	25. 非用水型工業における生産可能額	43. 工業用水道施設の建設費	67. 上水道施設の建設費
8. 河川維持水量	26. 資源	44. 上水道施設の建設費	68. 下水処理施設の建設費
9. 植生	27. エネルギー消費量	45. 下水処理施設の建設費	69. 下水処理水再利用施設の建設費
10. 動物(プランクトン)	28. 水資源開発余裕量	46. 下水処理水再利用施設の建設費	70. 回収水利用施設の建設費
11. 社会	29. 上水道施設によるエネルギー消費量	47. 回収水利用施設の建設費	71. 水資源開発施設の維持管理費
12. 快適性	30. 工業用水道施設によるエネルギー消費量	48. 水資源開発施設の維持管理費	72. 農業用水施設の維持管理費
13. レクリエーション	31. 下水処理施設によるエネルギー消費量	49. 農業用水施設の維持管理費	73. 工業用水道施設の維持管理費
14. 収容可能人口	32. 下水処理水再利用施設によるエネルギー消費量	50. 工業用水道施設の維持管理費	74. 下水処理施設の維持管理費
15. 上水道普及率	33. 下水処理水再利用による開発余裕量	51. 上水道施設の維持管理費	75. 下水処理水再利用施設の維持管理費
16. 下水道普及率	34. 回収利用による開発余裕量	52. 下水処理施設の維持管理費	76. 回収水利用施設の維持管理費
17. 経済	35. 河川取水余裕量	53. 下水処理水再利用施設の維持管理費	
18. 第1次産業における生産可能額	36. ダム開発余裕量	54. 回収水利用施設の維持管理費	



図一 水配分の適正概念

3. 水配分の定義と分類⁵⁾

冒頭に述べたように、水配分問題は、さまざまな視点からとりあげられてきた。ここでは、それらを整理して、水配分の概念的な分類を行うことにより、図一1の評価項目から何をとりあげることが必要か、また最適化モデル定式化の枠組を設定する。

まず、水配分が水環境システムの中で、どのような位置づけにあるかについて考えることとする。今、「水利用」を水の機能を利用して何らかを生じせしめる行動と考えたとき、そこには、「水」と「行動」とそれらの存在する「場」がある。具体的には、「行動」とは地域活動であり、「場」は自然環境を、「水」はそれらをつなぐ取排水を指しているといえよう。とりわけ、地域活動と取排水は、図一2に示すように自然環境の中でプロセスシステムを構成している。広義に水配分を定義するならば、取排水のコントロールを通して自然環境と地域活動の調和をはかることであるといえよう。

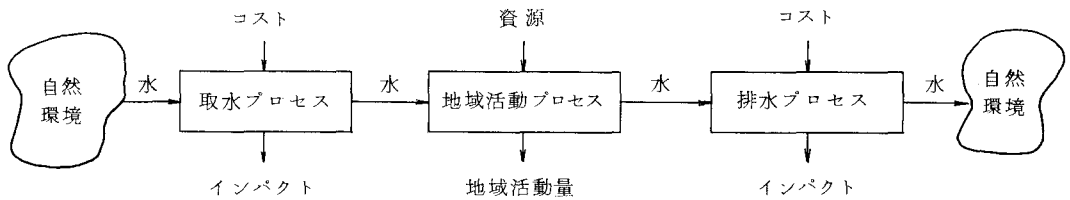


図-2 水利用プロセスシステム概念

図-2における地域活動というプロセスのコントロール(すなわち、出力である地域活動量と排水のコントロール)の制御要因には2とおり考えられる。入力である水とプロセスの内部構造自体である。このうち後者に関しては、そのコントロールの可能性を検討した例⁶⁾もあるが、現実問題としては、前者のコントロールに比べて多大な費用とエネルギーを要すると考えられる。このため、本研究では、前者を対象としたプロセスコントロールを狭義の水配分問題としてとりあげ、その概念を整理する。

まず、地域活動プロセスの情報のみで考えることのできる水配分が定義される。

水配分 A : 地域活動に対し、水を配分することによる地域活動量の適正化。ここで必要な評価項目は、図-1における「活発な経済活動をすすめられること」である。

次に、地域活動プロセスは、排水という出力をもつ。このコントロールのためには、それが排水プロセスを経て、自然環境へ至り、次の取水プロセスへ影響を与えるため、取排水を含めて考察する必要がある。これは、どこで、どのような排水を行えば、どこに環境変化をひきおこすかという地理的分布をみなければならぬためである。この場合に次の水配分が定義される。

水配分 B : 地域活動・取排水に対し、水を配分することによる排水の環境インパクトの適正化。ここで必要な評価項目は、図-1における「良好な自然環境であること」「住みやすい社会であること」である。

そして、地域活動プロセスの入出力が水配分、A、Bにより設定されると、それをみたく取排水をいかに合理的に構築するかが問題となる。このときは、自然環境も地域活動もその入出力は固定される。合理的な取排水を行うことは、次の定義の水配分と考えられる。

水配分 C : 地域活動・自然環境の入力、出力が設定された場合の施設建設・維持管理の合理化。ここで必要な評価項目は、図-1における「資源の有効利用がなされること」、「事業費が低廉であること」である。

以上の3つの水配分は、互いに独立なものではなく、本来は、相互に補完的でトータルシステムを構成すべきものと思われる。筆者らは、いくつかの研究を通じて、水配分^{7),8)}Bおよび水配分⁹⁾Cに関し、水配分Aを内在化した形での検討を行ってきた。その中では、水配分Bは環境インパクト最小、水配分Cはコスト最小という評価を行っている。しかしながら、地域活動の評価においては、最大・最小の評価以外も必要ってくる。たとえば人口密度などはその例である。このことは、水配分B、Cでも想定されることではあるが、とりわけ、水配分Aでは、重要な問題となると考えられる。そのため、4.では、水配分Aを対象としたモデル分析の方法について考察する。

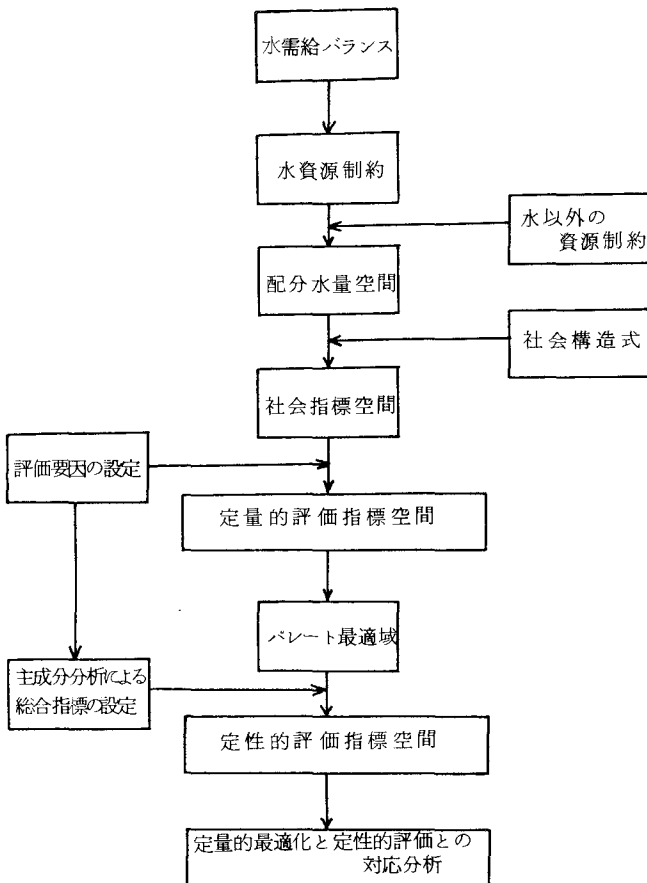
4. モデル分析の方法とケーススタディ⁵⁾

水配分Aに関するモデル分析の目的は、地域活動を評価するための項目について、地域の特性に合ったものを抽出することである。すなわち、人口、出荷額など一般的にとりあげられる項目のトレードオフ関係を分析することにより、どの項目を水配分B、Cでとりあげるべきかについて議論することである。そのため、

モデル分析により、次の4つの空間を作成していく。

- i) 配分量空間：水資源制約・水以外の資源制約により形成される、各水利用用途（これを利水部門と呼ぶ）への配分量のとりうる空間
- ii) 社会指標空間：配分量に対応して得られる社会指標値の空間（ここで使用する対応関係を社会構造式と呼ぶ）
- iii) 定量的評価指標空間：社会指標中、最大化・最小化が定義できる指標（これを定量的評価指標と呼ぶ）により構成される空間
- iv) 定性的評価指標空間：社会指標中、最大化・最小化が定義できない指標（これを定性的評価指標と呼ぶ）により構成される空間

通常の水配分モデル分析においては、このうち、配分量空間に対し、定量的評価指標空間を直接対応させ、この中で代替案抽出を行うことが多い。しかしながら、評価指標を設定した根拠があいまいであったり、他の評価要因との関係は略したりすることも多い。本稿では、社会経済的な指標がいくつか考えられる中で、最大・最小が定義できる（すなわち、最適化モデル分析が可能となる）指標と、そうでない指標間の関連について分析することにより、前者の指標をより地域の実情に沿って解釈することを目的として、定性的評価指標空間についても考察する。これら、4つの空間の作成は、図-3に示すフローチャートに沿って行なわれるが、次にこのフローをもとに、各空間の位置づけについて述べる。



配分量空間の作成について入力となるのは、水資源制約および水以外の資源制約であるが、本稿では、前者に関し、あらかじめ、需給バランスの分析を行い、利水部門ごとの配分量上・下限を求め、後者に関しては、土地制約として、宅地面積と使用水量の関連式を求め、宅地の上下限を設定した。配分量空間は、利水部門間のトレードオフを、水量として示してくれる。

次に、社会指標空間の作成においては、社会構造式の作成を前提とする。社会構造式の作成は、本稿では、水量との重回帰分析により行った。その一例を図-4に示す。この場合、生活用水量から人口を導く場合の統計的関連構造を求めることにより、相関の高い関連式を作成した。

さて、定量的評価指標空間は、社会指標空間のうち、定量的社会指標による部分空間として定義されるわけであるが、この場合には、各々の指標の最大・最小化により、パレート最適域が形成される。これは、定量的社会指標間のトレードオフを示すものであり、マルチパラメトリック計画法を使用して求めることができる。

以上をうけて、定性的評価空間の作成に至るわけであるが、この場合、その空間は、

図-3 水配分Aに関するモデル分析フローシート

定量的評価指標空間におけるパレート最適域に対して定義する。これは、定量的評価の解釈を定性的評価により行うという立場にもとづくものである。

しかしながら、定性的評価は、この空間に対してただちに行なわれるものではない。すなわち、定性的な指標であるため、他の地域と比較したり、過去の状況と比較することにより、相対的な位置づけを行い、その中で、定性的な望ましさを見出していかねばならない。本稿では、相対的な位置づけのため、定性的指標に関する主成分分析を行う。

最終的には、ここまでで得られた、定量的最適化と、定性的評価の対応をパレート域上でみることにより、量的最大・最小化を解釈していく。この結果、水配分B・Cで、地域活動の評価は、何をもとに行うべきかを考察するための情報を得ることになる。

さて、以上の分析方針を基本的なS川流域適用した例について述べる。まず、本稿では、水配分ケースとして、水資源制約と宅地制約に対し、表-2の4ケースを考察する。一方、社会指標としては、表-3の10個の統計量をとりあげた。このうち、人口・商業販売額・工業出荷額を定量的評価指標としてその最大化を考える（人口については、収容可能人口と考えている）。

定量的評価指標空間は、図-5のように得られた。ここで、人口と商業販売額は、殆んどトレードオフを示さず、同じ傾向にあるのに対し、工業出荷額の最大化とは、大きいトレードオフを示している。また、図からあきらかなように、宅地開発は、生活用水の増加にもとづき、人口・商業販売額を増加させるが、工業出荷額は停滞する。一方、水源開発は、工業出荷額の増加に寄与していることがわかる。パレート域は、両者のシナリオによって、領域の増加をひきおこされる傾向にあることがわかる。

次に、定性的評価指標空間については、まず、表-3の中から、5つの定性的指標を求め、この指標に関し、近隣地域のデータをもとに、主成分分析を行った結果、第1軸に、製造品出荷額・人口密度・商業販売額があらわれ、都市化の度合を示すことがわかり、第2軸に残りの世帯

人員と宅地面積を得、これが、生活空間の広さを示す軸であることがわかった（図-6参照）。この軸のうえで、定性的社会指標空間を示したのが、図-7である。4つのケースのうち、ケース4が、都市活動のレベルが年々高くなるが、このとき、定量的評価とは無関係であることを示しているが、生活空間の広さには、

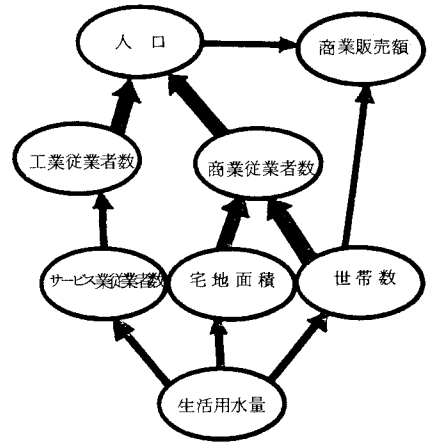


図-4 使用水量と社会指標の関連
(矢印の太さは、相関の強さを示す)
(矢印の向きは、説明の方向を示す)

表-2 制約条件ケース設定

制約	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水資源	現況	現況	水源開発	水源開発
土地	現況	宅地開発	現況	宅地開発

表-3 とりあげる社会指標

定量的	人口・世帯数・宅地面積 商業販売額・工業出荷額
定性的	人口密度・1人あたりの宅地面積・世帯人員 1人あたり商業販売額・1人あたり工業出荷額

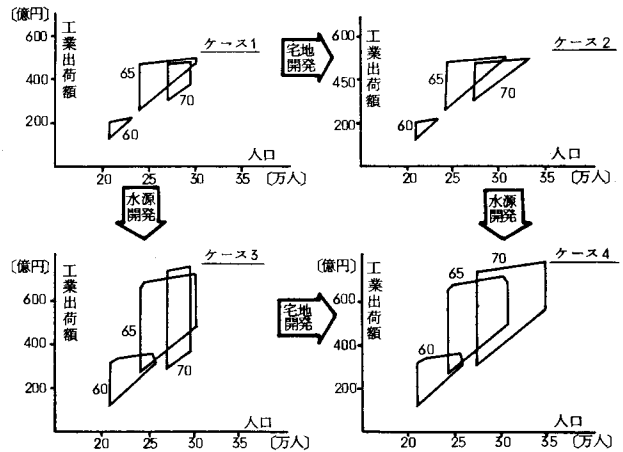


図-5. 定量的評価指標空間

大きく関連することがわかる。これに対し、宅地開発を行わないケース1、3においては、人口・商業販売額の最大化は、生活空間の拡大につながるが、工業最大化は、その逆であることを示している。以上から、定量的評価において、人口・商業販売額の最大化は、生活空間の拡大を意味し、工業出荷額については、その逆であるという傾向がうかがえる。このような情報は、水配分B、Cにおいて、何を地域活動の評価指標とすべきかという場合の有効な入力情報となるであろう。

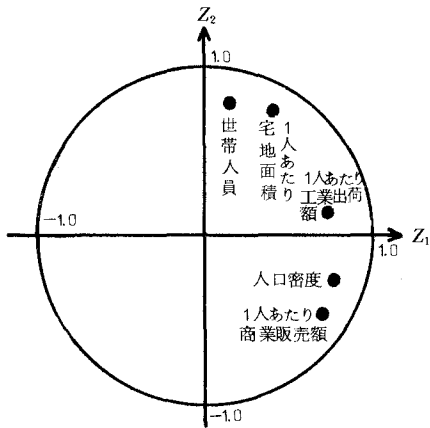


図-6. 因子負荷量分布図

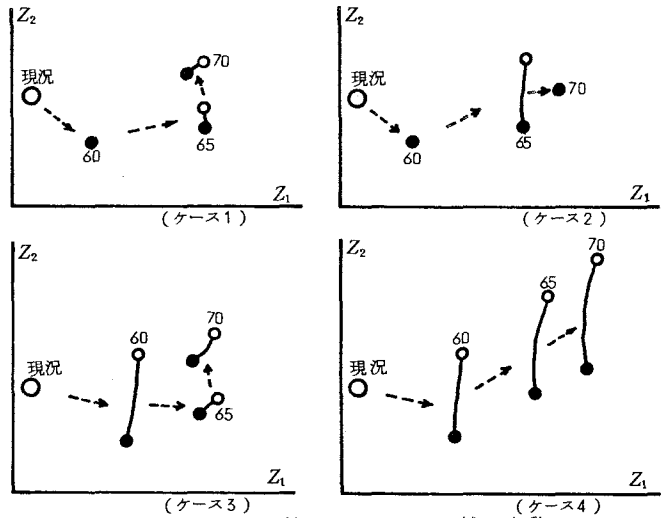


図-7. 主成分軸上でのパレート域の変動

○人口・商業販売額MAX ●工業出荷額MAX

5. おわりに

水配分問題は、今日、需要をどのように満たすかという問題から、流域の開発可能量をいかに配分するかという問題へと転換をせまられてきている。このことは、筆者らの主張でもある、地域にあった水利用というものを推進する方向にあるといえよう。本研究の意図は、流域という大きな自然環境の中で、地域活動が営まれるとき、水配分でどのようなことを考えねばならないかについてとりあげ、それを適正概念や、水配分の定義という形で整理し、最適化モデル分析をどのように使用すべきかについて考察することであった。これについては、3で示した水配分の分類の中から、水配分Aをとりあげ、ケーススタディを通して、最大・最小があてはまらない評価項目による評価と最適化モデルとの関連に焦点をあてて考察した。

しかしながら、水配分A、B、Cは、本来、トータルな情報システムの基本単位となるものであり、今後の課題としては、それぞれのケーススタディの積み重ねと、トータルシステムとしての検討が残されている。

最後に、本研究のとりまとめにおいて、有益なコメントをいただいた日本水道コンサルタントシステム開発室中川芳一氏に感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 萩原・上田・沼田・徳田・渡辺；水利用計画と数理計画手法、NSC研究年報、VOL.6、1978
- 2) 萩原・内藤；水環境のシステム解析、環境情報科学、9〔1〕、1980
- 3) 萩原・上田・渡辺；適正水資源配分に関する一考察、NSC研究年報、VOL.7、1979
- 4) Warfield, J. N.; Structuring Complex Systems, Battelle Monograph 4, 1974
- 5) 萩原・渡辺；適正水配分モデル分析に関する一考察、NSC研究年報、VOL.8、1980
- 6) 萩原・小泉・渡辺；アンケート調査をもとにした都市の水需要構造分析、地域学会国内大会報告、1980
- 7) 萩原・渡辺；分解原理による水質保全を考慮した地域水配分、土木学会年講Ⅳ、1979
- 8) 萩原・中川・辻本；多目標水資源配分過程に関する研究、第1回土木計画学研究発表会講演集、1979
- 9) 萩原・中川・渡辺；ダム建設計画に関する一考察、第2回土木計画学研究発表会講演集、1980