

京都大学工学部 正会員 春名 文
 京都大学工学部 正会員 岡田 憲夫
 京都大学工学部 学生員 O 吉永 一夫

1 はじめに.

近年人口の増大とその都市への集中、経済の高度成長、生活水準の高度化と様式の多様化、その他諸々の経済的、社会的変化を反映して、水需要が急激に増大し将来においては、深刻な水不足が生ずるものと考えられる。また大都市圏においては、一水系にダム群を建設し水資源開発を行なって水需要を充足する一水系開発主義では解決できなくなってきた。また一方には、水供給能力にゆとりのある地域が存在する。水資源の有効利用の点から、常識的な需給圏、水系を越えた水の融通を考えていくことが重要となってくる。このためには、複数の水系を含む広域的な地域を対象としたダム群と他の利水施設の建設計画をとりあげて検討していく必要がある。この場合各地域ごとに個別にダムを建設したり導水路を建設すると効率的な水源開発とその利用を促進することができない。したがって各水系間で相互の調節をはかり、地域全体としてバランスのとれたものにする必要がある。しかしながら広域利水計画を策定するにしても、水源を遠方に求めたり開発規模を大きくすればするほど開発コストが上昇していく。そうに現実問題として実現が不可能な場合も生じてくる。これに対しては、不足な水量に対して開発を行なうという方式にとうわめずにこれを充足する手段として一部あるいは全体を下水の再利用や多元給水システムをも考慮することも必要であると考えられる。この場合についても、3次処理技術の未発達な点や処理費用が非常に割高になるという問題がある。新たな水源開発の場合もきわめて高い費用を支払わなければ実現が不可能になっている。このような下ではこれらの2つの方法をどのように融合化していくかはよいのかという問題について考察を加えることは有意義であると考えられる。また、このような計画は各水系や需要地で単独に行なうのではなくいくつかの水系及び需要地を含めた広域的な地域の枠の中で水利用計画を策定する必要があると考えられる。以上に述べた理由から本研究では、いくつかの水系及び需要地を含めた地域全体について広域的な水配分問題に注目する。すなわち、水源開発から施設の建設と維持管理にいたるまでの給水システムの問題を大規模な水源開発と流域間導水という二つの方法による再利用の2つの方法を取り入れることによりこれを広域的な観点から分析評価することを試みる。

2 モデル化の仮定

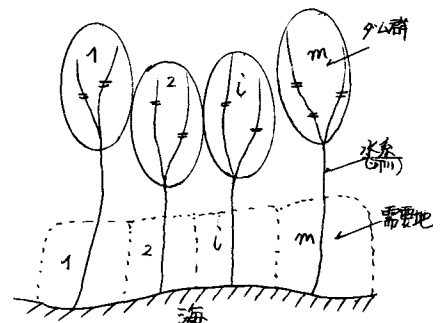
モデルの分析にあたっては、次のような仮定を設定した。なお、これらの仮定は、この分析とは別に考察を加えたものである。ここでは内容についての説明は省略する。

① 需要地における導水場及び、処理施設の規模は計画期間を通じて最大の供給に等しい容量で建設する。またその立地点については、あらかじの物理的、経済的、技術的なうけは社会的な条件から個別に検討し、決定してあるものとする。

② 各水系においては、複数のダムの立地が可能であるがこれらのダムの最大容量を積みあがることにより費用の関数ながら開発規模の上限の決定を行なうことにする。

③ 需要地は各水系の流域に位置している。これらを一つに統合して1需要地として扱う。したがって給水施設のうち3次処理施設の設定的方法についてもこの程度の目的に合致するよ

図-1. ダム群及び需要地の関係.



うに大まかな観点より設定する。また、その際には、需要地間における送水は、行われなければならないものとする。

④ 水系から水系への導水は、河川から直接に導水路を引いて他の河川へ導水するものとする。

⑤ 需要地にかける需要量は必ず満たすものとする。

⑥ 都市生活用水については、上水道のみを使用するものとし、また、上水道の取水方法は河川から直接取る方法によるものとする。

⑦ タムの建設費用その他の諸施設の建設費用は、規模に関して線形と仮定しても、本モデルで目的としている程度の大まかな情報作成には不合理ではないと考え線形近似を行なう。

⑧ 上水道の配水の方法や費用ならびに回収水のためのパイプラインあるいは工業専用水道の末端給水の方法ならびに費用などは、一応考察の対象から外すことにする。

3 モデルの定式化

(1) 制約条件の定式化。各水系を表わすインデックスを図-1のように $i=1, 2, \dots, m$ と定めることで各水系にダム群を1ヶ所、需要地を1ヶ所と仮定しているのを、これをそれぞれ水系と同じインデックスとして表わすものとする。いまダム群 i の新規開発量を x_i ($i=1, 2, \dots, m$)、ダム群 i による新規開発水量の制限を C_i ($i=1, 2, \dots, m$)とし次の関係が成立しているものとする。

$$x_i \leq C_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(1)$$

(ここで C_i はあらかじめ別個に検討を加えて決められるダム群の開発可能規模の最大値を表わしている。)

水系 i から水系 j ($i \neq j$)への導水量を $y_{i,j}$ 、 $y_{i,i+1}$ とすると、

$$x_i + y_{i,i+1} + y_{i,i+2} - y_{i,i+1} - y_{i,i+2} \geq 0 \quad (y_{i,1}=0, y_{i,m+1}=0) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(2)$$

さらに、需要地 i での上水道の需要量を D_i^M ($i=1, 2, \dots, m$)、工業専用水道の需要量を D_i^I ($i=1, 2, \dots, m$)

また、需要地 i での上水道、工業専用水道、回収水それぞれの供給量を S_i^M 、 S_i^I 、 S_i^R ($i=1, 2, \dots, m$)のように定義すると、次式の関係が成立する。

$$D_i^M \leq S_i^M \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(3) \quad D_i^I \leq S_i^I + S_i^R \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(4)$$

$$x_i + y_{i,i+1} + y_{i,i+2} - y_{i,i+1} - y_{i,i+2} - S_i^M - S_i^I \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(5) \quad S_i^R \geq D_i^M + D_i^I \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(6)$$

(これらの制約条件式の中で変数は、 x_i 、 $y_{i,i+1}$ 、 $y_{i,i+2}$ 、 $y_{i,i+1}$ 、 $y_{i,i+2}$ 、 S_i^M 、 S_i^I 、 S_i^R である。)

(2) 評価関数の設定。モデルにかける評価の尺度としては、費用関数の設定を行なうが、本モデルにおいては、施設の建設費用とその維持管理費を求めている。さらに建設費用の評価にあたっては、施設の耐用年数を設定するとともに、定額償還法を用いた償還額を求めてこれを利用する。したがって評価すべき費用としては、1年あたりの償還額と1年あたりの維持管理費の総和を用いることになる。

いま、タムの建設費用+維持管理費 $a_i x_i$ (7) 汚水場の建設費+維持管理費 $b_i S_i^M$ (8)

工業専用水道の建設費用+維持管理費 $c_i S_i^I$ (9) 処理施設の建設費用+維持管理費 $d_i S_i^R$ (10)

導水路の建設費用+維持管理費 $e_{i,i+1} y_{i,i+1} + e_{i,i+2} y_{i,i+2}$ ($e_{i,1}=0$ $e_{i,m+1}=0$) (11)

(ここで a_i 、 b_i 、 c_i 、 d_i 、 $e_{i,i+1}$ 、 $e_{i,i+2}$ はそれぞれの費用の単価を表わしている。)

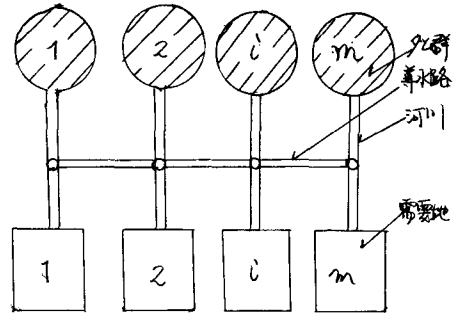
とすると目的関数は、次式のように表わすことができる。

$$Z = \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m b_i S_i^M + \sum_{i=1}^m c_i S_i^I + \sum_{i=1}^m d_i S_i^R + \sum_{i=1}^m \{e_{i,i+1} y_{i,i+1} + (e_{i,i+2} y_{i,i+2})\} \quad \dots\dots(12)$$

以上のように定式化された問題は、費用関数は線形となると仮定するので、線形計画の手法によって最適解を求めることができる。

4 モデルの運用方法

図-2 モデル化のために図-1に示されるものをモデル化したもの。



①パラメトリックプログラミングならびに感度分析によるアプローチ。本モデルを適用し、モデル分析を行なう際には次のような点に着目する。すなわち、本モデルにより得られる計算結果を有効な計画情報とするためには、単に一定のインプットに対して最適解を求めるだけでなく、インプットの条件の変化に対して最適解がどのように変化するがあるいは、逆に何らかの形で政策的に優先させた代替案が最適解に近づく得るためには、インプットの条件をどのように変化させればよいといった点についても分析を試みる必要がある。このような観点からモデルにありける定数値ならびに他の定数項の変化に対する解の変化をシステムティックに取り出すためのならびに感度分析をパラメトリックプログラミングを適用し、計画情報を作成することを試みる。これらの詳細な説明については、紙面の都合上講演時に必ずすることにするが、その際特に興味のある分析上の事柄を具体的に述べる。

①需要量や諸費用関数が与えられた際のダム群及び諸施設の合理的な建設計画及び費用を比較することにより、水メトリックを訂正することができる。

②需要量を変動させることにより、流域全体における新規開発水量と回収水の使用量の比率の変化を定める。さらに、その際の総費用の変化や水単価の変化状況を察し、計画計画のための情報とする。

③ダムの建設費用及び回収水の処理費用を変化させることにより、各々の水量と比率がどのように変わるかを察する。

②アコンポジションの原理の適用によるアプローチ。モデルの運用にあたっては、そのモデルに組み込んだメカニズムをパブリズムの観点から察し、先般問題との対応も考えることは、モデルから得られる情報を立体化するとともにその妥当性についての検討を行なう上で大変重要である。いま、示したモデルに組み込んだメカニズムについて考えてみる。本モデルにおいては大きく分けて大規模な流域における水源開発問題、流域間導水路計画の問題（この二つは兩者を一緒にして大規模利水開発計画の問題とみなすこととする。）ならびに各地域における処理水の再利用計画の問題の3つの問題（あるいは2つの問題）を組み入れて定式化している。したがって本モデルを運用する際にこれらの計画問題が相互にどのように関連をもち全体計画の中でどのような形で調整し合うことにより、代替案が抽出されるかといった問題に着目し、これを理論的に説明することは大変重要である。このような目的のために本モデルの開発上の特徴に注目し、モデルに対して次のような数値的解答を与えることとする。先に定式化されたモデル以上の観点から整理すると次のようになる。

$$[I] \begin{cases} x_i & \leq C_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (13) \\ x_i + y_{i-1,i} + y_{i+1,i} - y_{i,i-1} - y_{i,i+1} & \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (14) \end{cases} \quad (ただし y_{0,1}=0, y_{m,m+1}=0)$$

$$[III] \begin{cases} x_i + y_{i-1,i} + y_{i+1,i} - y_{i,i-1} - y_{i,i+1} - S_i^M - S_i^F & \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (15) \\ S_i^M & \leq D_i^M \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (16) \\ S_i^F + S_i^R & \geq D_i^F \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (17) \\ S_i^R & \geq D_i^M + D_i^F \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (18) \end{cases}$$

$$Z = \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m (e_{i,i-1} y_{i,i-1} + e_{i,i+1} y_{i,i+1}) + \sum_{i=1}^m b_i S_i^M + \sum_{i=1}^m c_i S_i^F + \sum_{i=1}^m d_i S_i^R \rightarrow \min$$

[I]は大規模利水開発計画問題に関する条件の定式化、[II]は各地域における処理水の再利用計画問題に関する条件の定式化、[III]は[I]と[II]の兩者を統合的な立場から調整するための条件ならびに評価の定式化に相当しており、これはアコンポジションの原理が適用できることを示している。したがってこの原理を適用することにより、これらの調整過程を数式的に記述することができる。詳細については講演時に述べることにする。

5 おわりに

スワースの都市計画結果ならびにモデルの問題点については述べたことであるが、このモデルは問題をそれぞれに簡単な形に置き換えることにより、簡単なLPの問題に定式化されているが、運用においてはかなり有効に活用できると思われるが、詳細については講演時に述べることにする。