不確実性下における広域水利用ネットワークシステムの規模拡張方式に関する数理計画モデル

岡田　憲夫・若林　善仁

海洋土木工学科

(1985年9月3日受理)

A Methematical Programming Model for the Capacity Expansion Planning of a Regional Water Utilization System under Uncertainty

by

Norio OKADA and Yoshihito WAKABAYASHI

Department of Ocean Civil Engineering

(Received September 3, 1985)

The paper deals with a capacity expansion problem in water resources development under high uncertainty, and presents a mathematical programming model with both nonlinearities and 0-1 integer variables.

An efficient solution algorithm is developed by introducing surrogate functions to replace the 0-1 integer variables constrained by facility availability requirements.

With an illustrated example, the paper discusses applicability of the proposed solution algorithm, together with assessment of some implications derived from the model applications.

1．はじめに

近年、我が国の大都市圏域は人口の増加や産業の発展などに伴い水需要が大幅に増大し、これに対応すべく営々と水資源開発が行われてきた。しかし、このような大都市圏では自水系内水源が次第に開発限界に近づき、その結果、遠隔地に水源を求めざるをえない状況になってきている。このような状況下で利根川、淀川、筑後川などの大河川流域を中心として広域水資源開発が行われるようになり、それにつれて大都市圏では、水供給施設も大規模、かつ広域化の傾向になってきた。

このように水供給施設を大規模化、広域化することにより、個々の都市では物理的かつ経済的に困難であった大規模水資源の開発や、水の多角的有効利用が可能となってきた。そして大都市圏での水利用が大規模化・広域化するにつれて関連施設はパイプで有機的に結つけられ、ネットワークシステムとしての性格を強めている。この結果、広域的・多角的水利用施設の計画にあっては、施設系をネットワークシステムとして位置付けるとともに、これらのシステムのどの部分を、いつ、どの位の規模で、どのような順序で建設すべきかを詳細に検討する必要がでてきた。一方、プロジェクトの大規模化に伴って、建設開始から供用に至るまでの期間(リードタイム)がますます長大化しており、水利用システムの拡張計画を検討するに当っては、このリードタイムの影響を明示的に評価しておく必要がでてきた。さらに、リードタイムの長大化に伴って、その間に不確実な事態が発生する可能性が高くなり、しかもそのような事態が、いったん発生した場合には甚大な被害が生じうることが懸念されるようになってきた。

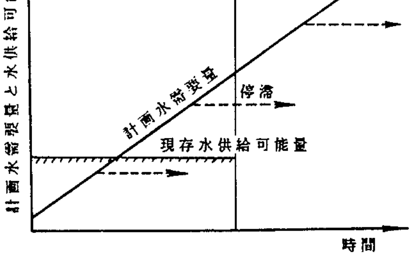


Fig.1 Assumed Structural Change in Demand Forecast

このような観点から本研究では、不確実性下における広域ネットワークシステムを段階的に建設する方式を計画する際に、施設供用後の各期におけるオペレーション方式をもあわせて予め検討していくことを考える。また、その際、不確実性事象として「水需要が直線的に伸び続ける状態から特定できない任意の時点で急に横這いの状態に移り変わり、以後回復しなくなる。」という構造変化(Ｆｉｇ．１)を想定するとともにリードタイムを明示的に組み込んだ数理計画モデルを提案する。また、この種のモデルには各時点における施設拡張開始の有無に関する０－１変数を導入することになるが、本研究ではこれを近似関数で処理する方法についても考察する。

2．モデルの定式化

(1)　問題の規定

a)　需要地

水需要地は大都市Ａと小都市Ｂから成ると仮定する。これらの都市の特徴を以下のように設定する。

大都市Ａ・・・人口１００万人程度の都市。水需要の伸びは急激である。このため、大都市Ａへの水供給施設規模を大都市Ａの新規計画水需要量に合せて開発した場合、懸念される構造変化が期間中に発生したとすれば、多大な投下損失を被る可能性がある。逆に水需要がこのまま伸び続けるのに対し十分な施設拡張がされなければ水不足が生じ、都市活動の規模や内容から見て甚大な損害を被る可能性がある。そこで大都市Ａの水需要予測には構造変化の発生の可能性を考える。なお構造変化が結局発生せず、常時直線的に水需要が伸び続けていくパターンを計画水需要量と呼ぶこととする。

小都市Ｂ・・・人口１０万人程度の都市。水需要の伸びは大都市Ａに比べて小さい。このため期間中に構造変化が発生したとしても被る損失は小さいと考えられる。そこで小都市Ｂでは、直線的に伸びるパターンで近似される計画水需要量を常に満足するように供給していくものとする。

b)　水供給施設と広域ネットワークシステム

対象広域ネットワークシステムをFig.2のように設定する。両都市への供給は以下の方式の組み合わせを考える。

大都市Aへの供給

1. 域外水源から、導水管、共同浄水場、送水管2を経由して供給
2. 水源Aから、浄水場Aを経由して供給
3. 小都市Bから、送水管3を経由して供給

小都市Bへの供給

1. 域外水源から、導水管、共同浄水場、送水管1を経由して供給
2. 水源Bから、浄水場Bを経由して供給

水源Aと水源Bは、それぞれ大都市A、小都市Bに隣接しているため、各水源から各都市への送水のための費用は無視できるほど小さいものとする。また、域外水源、水源A、水源Bの開発可能量の上限をそれぞれ400,50,100(単位$10^3 m^3$/day)とする。

(2)　計画対象期間

後述するように、評価は計画対象期間内のみとし、これを分割した各ステージ(期)ごとの評価値を全期間にわったて累計したものを取り上げる。その際、次のようなパラメータを定義する。

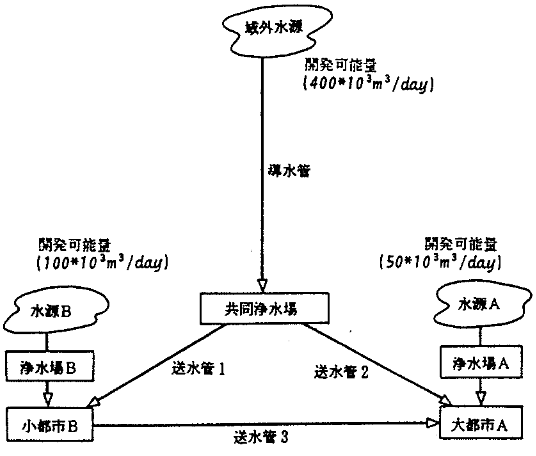


Fig.2　Modeled Water Utilization System

T	計画対象期間
V	単位検討期間
K	ステージの数
k	ステージ番号 ($k=1,2,\cdots,K$)

(3)　評 価 関 数

本研究では施設の規模、施設の操作管理方式、ならびに施設の供用時期を決定する問題を取り上げている。そのため評価関数として次に上げる4つの費用関数をとり、その総計の最小化を考える。

a)　建設費用

水供給施設の規模拡張のための建設費用は、減価償却額として計上された計画対象期間中の全支払額を用いて表わす。またその費用は、施設の建設開始時点、つまり供用開始時点からリードタイム分手前の時点(事業開始時点)から償還を開始すると仮定する。リードタイムについては供用前のnステージ分($1 \leq n \leq k$)と設定する。このとき、ステージkを供用開始時点とする施設の計画対象期間の期末における建設費用の評価額は以下の様になる。

$$(K-k+n)\ V \cdot C_i^k(q_i) \cdot g(r) \qquad (1)$$

ここに$C_i^k(q_i)$はステージkを供用開始時点とする規模q_iの施設の建設費用を表わす。また、$i \in I$, $I=\{AB, A, B, ab, a, b, 0, 1, 2, 3\}$で、ここにAB, A, Bはそれぞれ域外水源、水源A、水源Bを表わす。ab, a, bはそれぞれ共同浄水場、大都市Aの浄水場、小都市Bの浄水場を表わす。また、0、1、2、3はそれぞれ導水管、送水管1、送水管2、送水管3を表わす。

g(r)は資本回収係数で次式で与えられる。

$$g(r)=r\ (1+r)^m/\{(1+r)^m-1\} \qquad (2)$$

ここでrは年利率、mは償却期間を表わす。

施設の建設費は「費用」そのものを考えず、その施設の持つ「価値」を考える。そうすればその施設の持つ価値は物価の上昇とは無関係となり、建設開始時期に関係なく一定である。ステージkでの建設費用を計画対象期間初期(ステージ1)における建設費用に変換して表わすと、以下の様になる。

$$C_i^k(q_i) = (1+r)^{v(k-1)} C_i^1(q_i) \qquad (3)$$
$$(i \in I)$$

b)　維持管理費用

維持管理費用は、計画対象期間中における各施設の全維持管理費用の総和を考える。各施設の維持管理費用は、各ステージ中において直線的に変化するものとする。ステージkの初頭の維持管理費用は、ステージ(k－1)の期末の維持管理費用に等しいものとする。従って計画期間対象中の維持管理費用は、以下の様になる。

$$\sum_{k=1}^{K} \{O_i^{k-1}(s_i^{k-1}) + O_i^k(s_i^k)\}\ V/2 \qquad (4)$$
$$(i \in I)$$

$O_i^k(s_i^k)$はステージk期末における処理量s_i^kの維持管理費用を表わす。いま$O_i^k(s_i^k)$をステージ1での維持管理費用で表わすと、式(3)と同様に以下の様になる。

$$O_i^k(s_i^k) = (1+r)^{(k-1)v}\ O_i^1(s_i^k) \qquad (5)$$
$$(i \in I)$$

c)　施設遊休に対する機会損失費用

ステージk期末における施設遊休に対する機会損失費用は次のように算定する。その遊休施設の持っている資本価値とその施設が現処理レベルを最大容量とした場合の価値との差額を減価償却したものが機会損失費用であるとする。従ってステージk期末における施設遊休に対する機会損失費用U_i^kは以下の様に書かれる。

$$U_i^k = \{C_i^k(q_i) - C_i^k(s_i^k)\}\ g(r) \qquad (6)$$
$$(i \in I)$$

これを、式(3)と同様に、ステージ1における施設遊休に対する機会損失費用で表わすと、以下の様になる。

$$U_i^k = (1+r)^{(k-1)v}\ U_i^1 \qquad (7)$$
$$(i \in I)$$

施設遊休に対する機会損失費用は各ステージの中で直線的に変化する。また、ステージk－1期末の施設遊休に対する機会損失は、ステージk初頭の施設遊休に対する機会損失に等しいものとする。そこで、この項の費用の全期間Kについて総和すると次の様になる。

$$\sum_{k=1}^{K} (U_i^{k-1} + U_i^k)\ V/2 \qquad (8)$$
$$(i \in I)$$

d)　水不足・水遊休に対するペナルティ費用

ステージk期末における大都市Aでの水不足量および水遊休量は、大都市Aへの水供給量と大都市Aの新規計画水需要量との差で表わされる。いま、構造変化の発生時期をステージj期末とし、当該時期をステージk期末(k≧j)とすると、大都市Aにおける水不足あるいは水遊休量は以下の様に表わされる。

$$D_A^j - S_A^k \qquad (9)$$

ここに、D_A^jはステージj期末における大都市Aの計画水需要量、またS_A^kはステージk期末における大都市Aの水供給量を表わす。ここで、j＝kのとき、構造変化は発生していないと考える。

ステージk期末における大都市Aの水不足・水遊休量は、ステージk＋1期初頭の大都市Aでの水不足・水遊休量に等しいものとする。また、水不足・水遊休量は、各ステージ中において直線的に変化するものとする。このとき、ペナルティ費用$P^{j,k}$は次の様に定義される。

$$P^{j,k} = \begin{cases} p\ (D_A^j - S_A^k) & (\text{水不足}) \\ \alpha \cdot p\ (S_A^k - D_A^j) & (\text{水遊休}) \end{cases} \qquad (10)$$

ここにpは水不足量(水遊休量)1単位当りのペナルティ費用を、またαは水遊休率(0≦α≦1)を表わす。なお、単位検討期間でのペナルティ費用$Pe^{j,k}$は以下の様に表わされる。

水不足から水不足へ、または、水遊休から水遊休へ移行する場合(Fig. 3)

$$Pe^{j,k} = (P^{j,k-1} + P^{j,k})\ V/2 \qquad (11)$$

水不足から水遊休へ、または、水遊休から水不足へ移行する場合(Fig. 4)

$$Pe^{j,k} = \frac{(P^{j,k-1})^2 + (P^{j,k})^2}{(P^{j,k-1} + P^{j,k})}\ V/2 \qquad (12)$$

大都市Aでの水不足あるいは水遊休に対するペナルティ費用は、計画対象期間中に、あるステージの初頭に構造変化が発生する場合の期待費用と、計画対象期間中に構造変化が発生しなかった場合の期待費用の合計で表わされる。よって水不足・水遊休に対するペナルティ費用は以下の様に表わされる。

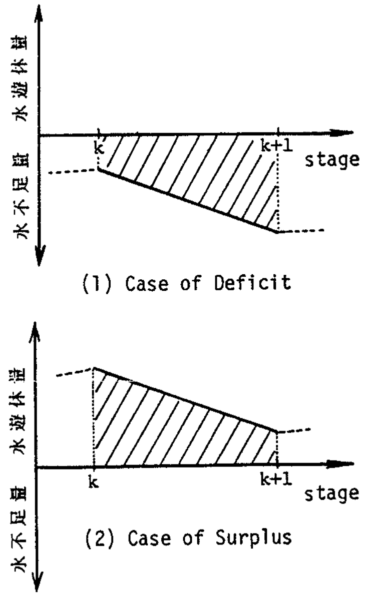


Fig.3 Calculation of Deficit or Surplus Amounts within a Stage

$$\sum_{j=1}^{K}\int_{(j-1)Y}^{jY}\lambda e^{-\lambda t}dt\left(\sum_{k=1}^{j-1}Pe^{k,k}+\sum_{k=j}^{K}Pe^{j,k}\right)$$
$$+\int_{T}^{\infty}\lambda e^{-\lambda t}dt\sum_{k=1}^{K}Pe^{k,k} \qquad (13)$$

第一項・・・計画対象期間中に構造変化が発生しなかった場合の項

第二項・・・ステージj期末に構造変化が発生した場合の項

第三項・・・ステージj期末まで構造変化が発生しなかった場合の項

ここに、$\lambda e^{-\lambda t}$は時点tにおける構造変化の発生確率で指数分布に従うと仮定している。

e） 0－1整数変数

本研究では、施設の規模、操作管理方式ならびに供用開始時期を決定する問題を取り上げている。しかし、上で記述されてきた評価関数には、施設の供用開始時期の決定変数がまだ明示的に組み込まれていない。そこで、これを決定するために、0－1整数変数f^kを新たに評価関数に組み込むことにする。0－1整数変数はf^kは、以下の様に書かれる。

$$f^k=\begin{cases}0 & \text{施設がステージk期末で供用されていない}\\ 1 & \text{施設がステージk期末で供用されている。}\end{cases} \qquad (14)$$

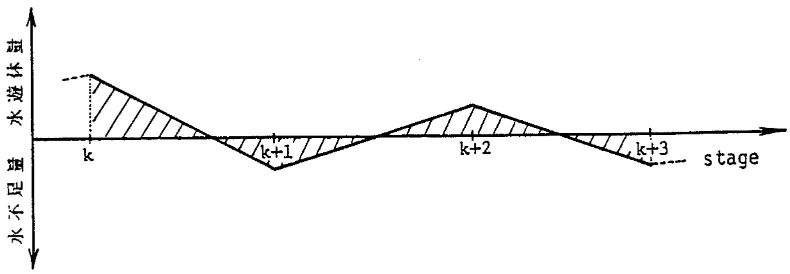


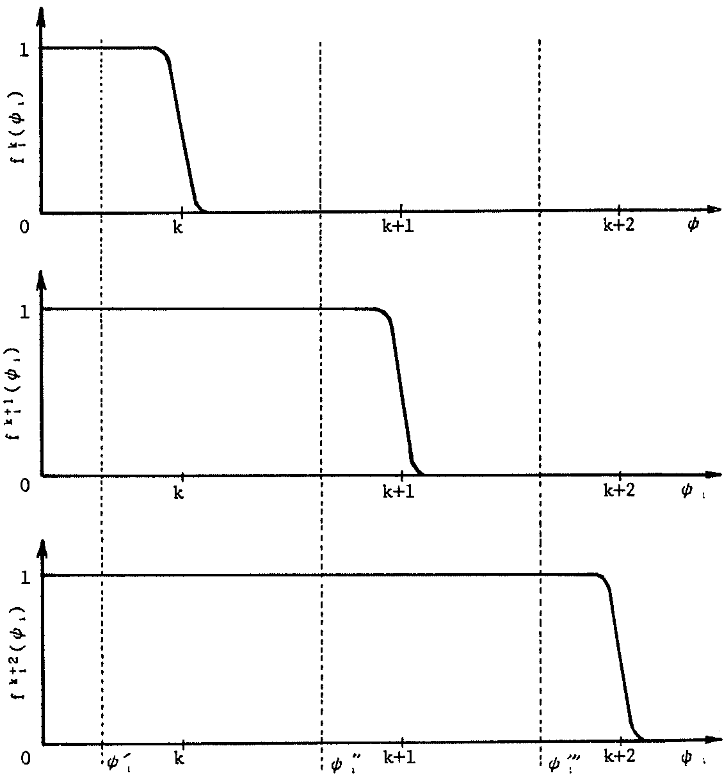
Fig.4 Calculation of Deficit-Surplus Amounts within a Stage

ステージkの期末で、施設がまだ供用されていないのであれば、当該ステージk以前では、もちろん供用されていない。また、ステージkの期末ですでに供用されていたのであれば、当該ステージk以後のステージでは供用されている状態にあるといえる。つまり $f^{k}=0$ ならば $f^{k'}=0\ (k'\leqq k)$ であり、$f^{k}=1$ であれば $f^{k''}=1\ (k''\geqq k)$ である。

施設がステージk期末でまだ供用されていない状態では、当該ステージk以前での維持管理費用、施設遊休に対する機会損失費用は共に零となる。そこで上記の評価関数に0－1整数変数を組み込むとともに、すべての評価関数についての総和をとると、目的関数は以下の様になる。

$$
\begin{aligned}
&\sum_{i\in I}\Big[\,(K-k+n)\ VC_i^k(q_i)\,g(r)\\
&+\sum_{k=1}^{K}\{f_i^{k-1}O_i^{k-1}(s_i^{k-1})+f_i^kO_i^k(s_i^k)\}\ V/2\\
&+\sum_{k=1}^{K}(f_i^{k-1}U_i^{k-1}+f_i^kU_i^k)\ V/2\ \Big]\\
&+\sum_{j=1}^{K}\int_{(J-1)V}^{jV}\lambda e^{-\lambda t}dt\ \Big(\sum_{k=1}^{j-1}Pe^{k,k}+\sum_{k=j}^{K}Pe^{j,k}\Big)\\
&+\int_{T}^{\infty}\lambda e^{-\lambda t}dt\ \sum_{k=1}^{K}Pe
\end{aligned}
\tag{15}
$$

(4)　制　約　条　件　式



$0\leqq\phi'_i\leqq k$　　$f_i^k(\phi'_i)=f_i^{k+1}(\phi'_i)=f_i^{k+2}(\phi'_i)=1$

$k\leqq\phi''_i\leqq k+1$　　$f_i^k(\phi''_i)=0$、$f_i^{k+1}(\phi''_i)=f_i^{k+2}(\phi''_i)=1$

$k+1\leqq\phi'''_i\leqq k+2$　　$f_i^k(\phi'''_i)=f_i^{k+1}(\phi'''_i)=0$、$f_i^{k+2}(\phi'''_i)=1$

Fig.5　Surrogate Functions

制約条件は、以下の4つの条件である。

① 施設の容量は、水源の開発可能量を越えない。

② 水処理量は、施設の容量を越えない。

③ ステージk期末での送水管1と送水管2との水処理量の和は、導水管の水処理量に等しい。

④ 小都市Bへの水供給量は常に小都市Bの計画水需要量を満足させる。

大都市Aには構造変化の発生を勘案しているので、大都市Aの計画水需要量を満足するように水供給をしていく必要はない。これら4つの条件を式で表わすと以下の様になる。

制約条件①より

$$
\begin{aligned}
q_0=q_{ab}=q_{AB}&\leqq Q_{AB}\\
q_a=q_A\quad&\leqq Q_A\\
q_b=q_B\quad&\leqq Q_B
\end{aligned}
\tag{16}
$$

Q_{AB} は域外水源の開発可能量

Q_A は水源Aの開発可能量

Q_B は水源Bの開発可能量

制約条件②より

$$s_i^k \leqq q_i \qquad (i \in I,\ k=1,2,\cdots,K) \qquad (17)$$

制約条件③より

$$s_0^k = s_1^k + s_2^k \qquad (k=1,2,\cdots,K) \qquad (18)$$

制約条件④より

$$D_B^k = s_1^k + s_0^k - s_3^k \quad (k=1,2,\cdots,K) \qquad (19)$$

ここに、D_B^kはステージk期末における小都市Bの計画水需要量に等しい。

(5) 近似関数の導入

本モデルは多くの変数と制約式を有する0－1整数混合型非線形計画問題となるので、これを直接解くことはきわめて困難である。そこで$f_i^k=0$ならば$f_i^{k'}=0$ $(k'\leqq k)$、また、$f_i^k=1$ならば$f_i^{k''}=1$ $(k''\geqq k)$ $(i\in I)$なる0－1整数変数を以下に示す式で与えられる関数$f_i^k(\phi_i)$で近似することを考える。

$$f_i^k(\phi_i) = 1/\{1+e^{-\alpha(k-\phi_i)}\} \quad (i \in I) \qquad (20)$$

ここに$f_i^k(\phi_i)$は、変数ϕ_iの関数である。またαは近似関数の近似精度を決定するパラメータである。

いまこの近似関数の特性を説明するために、連続する期すなわち、ステージk、k＋1、k＋2を考えよう。Ｆｉｇ．５は、ϕ_iの値が$(0\leqq\phi_i<k)$であるとき、$f_i^k(\phi_i)=f_i^{k+1}(\phi_i)=f_i^{k+2}(\phi_i)=1$、これはステージkですでに施設が供用されていることを示している。また、たとえばϕの値が$(k<\phi<k+1)$であれば、$f_i^k(\phi_i)=0$,　$f_i^{k+1}(\phi_i)=f_i^{k+2}(\phi_i)=1$。このときは、ステージk期末ではまだ供用されず、ステージk＋1期末で初めて供用されたことを示している。このように、(20)式で与えられる関数$f_i^k(\phi_i)$は、0－1整数変数f_i^kの特性を適切に近似しうるものと考えられる。そこで(20)式で定式化した本モデルの目的関数の各項においてf_i^kを$f_i^k(\phi_i)$で置き換えることにする。この結果、本モデルは単なる非線形計画モデルに変換される。

3. モデル計算

(1) 解法のアルゴリズム

本非線形計画モデルの解法としてComplex 法を用いる。Complex 法は、制約条件を伴う非線形目的関数を解くのに適しており、プログラムが簡単であるという利点がある。

しかし、その反面、収束性を明示的にチェックするための規範的基準を用いることができないという欠陥がある。また、Complex 法は解の改善を目的関数の評価結果に基づいて行うため、制約条件の影響を明示的にチェックできない。そこでこの点については試行錯誤的に行うことにする。また、本非線形計画モデルの数学的構造上、局所的最小解(極小解)がいくつも存在しえ、全域的最小解を見出すのが容易ではない。そこで本研究では、初期値を種々変えて、それぞれの場合について最適解を求め、後でその中から最も小さなものを最小解の(候補として)採用することにした。なお解法のアルゴリズムをＦｉｇ．６に流れ図で示した。Complex 法の詳細については付録を参照されたい。

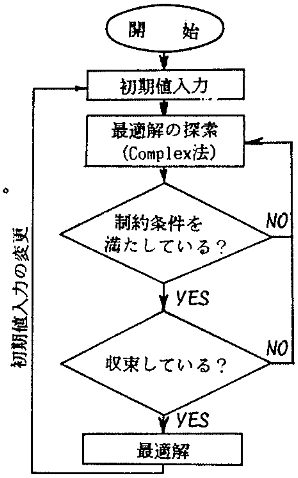


Fig.6 Solution Algorithm

(2) 近似関数の近似精度

近似精度αの値が、大きい場合と小さい場合の近似関数の形は、Ｆｉｇ．７のようになる。これより、近似精度αの値が大きい場合には、近似精度は1から0へ急に移行するのに対し、αの値が小さい場合には、ゆっくりと移行することが分る。

次節で示す各ケース計算を実行する前に、この近似関数のパラメータαの値の設定方法を吟味する目的で以下のような実験を行った。すなわち、すべての初期値を原点の近傍に集めるとともに、水源は域外水源のみとした場合を考え、Complex 法を用いて計算を行った。なおス

テージ数は３、単位検討期間は５年とした。その結果は以下のようになった。

αが大きい場合($\alpha=30$)　第一ステージで供用

αが小さい場合($\alpha=12$)　第一ステージで供用／第二ステージで供用／第三ステージで供用

このように、近似精度αの値が大きい場合には、初期値によって開発供用時期が規定される。そこで、まず計算当初では、この近似精度を小さくしておいて、ϕ_iの値が一定値に近づけば、徐々に近似精度を大きくしていく方法を採ることにした。すなわち、αの値を１２，１７，３０の３通りとし、この順に徐々に大きくしていくことにした。

（３）　費用関数

本モデルを解くにあたって、費用関数ならびに、各初期値を次の様に設定した。

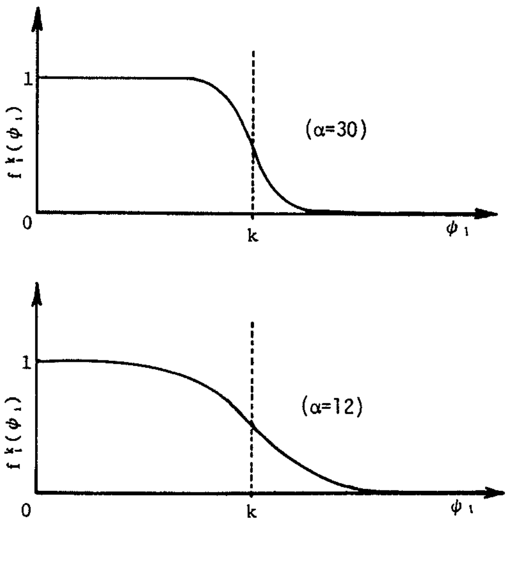


Fig.7　Comparison of Approximation Accuracy for two values of α

水源開発施設(ダム)

建設費用	$23.613\,q^{0.7958}$	(10^6yen)
維持管理費用	$7.87\,s^{0.7958}$	(10^6yen/year)
浄水場		
建設費用	$109.437\,q^{0.763}$	(10^6yen)
維持管理費用	$14.103\,s^{0.472}$	(10^6yen/year)
送水管		
建設費用	$5089.41\,q^{0.669}$	(yen/m)
維持管理費用	$68.681\,s^{0.7337}$	(yen/m·year)

水不足・水遊休に対するペナルティ値

462.79　(yen/year)

水遊休率　0.1

大都市Ａの水需要の伸び

20.85　(10^3m^3/day)

小都市Ｂの水需要の伸び

2.0　(10^3m^3/day)

q，ｓは(10^3m^3/day)の単位をもつ。

大都市の現存供給可能量

30.0　(10^3m^3/day)

小都市の現存供給可能量

20.0　(10^3m^3/day)

計画対象期間　１５年

単位検討期間　５年

ステージ数　３

（４）　結果と分析

本モデルの分析ケースとして次の２ケースを行った。

１）　構造変化の発生確率Ｑが、0.05の場合
($\lambda=\log_e\{1/(1-Q)\}=0.0513$)

２）　構造変化の発生確率Ｑが、0.1の場合
($\lambda=\log_e\{1/(1-Q)\}=0.1054$)

結果として、以下の様な特徴が得られた。

① 本モデルはその数学的構造上、極小解が多数存在し得るので、全域的な最小解を見出すことは必ずしも容易なことではない。そこで初期値を種々変えて極小解のセットを求め、これより最も小さい評価関数値を示すものを最小解の候補と考える。

② 上記の様にして得た極小解のいくつかは、ほぼ同水準の評価関数値を示している。そこでこれらのいずれもが全域的な最小解の候補になりうる。

③ Ｆｉｇ．８は構造変化の発生確率が0.05の場合の極

小解である。この規模拡張方式は、ステージ1期末で域外水源から、ステージ2期末で小都市Bから、そして、ステージ3期末で水源Aから、それぞれ大都市Aに供給が開始されている。また大都市Aへの水供給は、大都市Aの計画水需要量と一致している。

④ この理由を考えるには、目的関数を構成する各評価項目が最適解の選択にどのように影響するかを考察すればよい。これは、次のように整理される。

建設費用

規模の経済性から見て一度に大規模なものを建設した方が有利である。

供用時期を遅らせた方が有利である。

施設の建設を行わない方が有利である。

維持管理費用

施設が建設されていたとしても、水を供給しない方が有利である。

施設の建設を行わない方が有利である。

施設遊休に対する機会損失費用

施設の建設を行わない方が有利である。

施設が建設されていたとすれば、その施設の供給可能量一杯のレベルで供給する方が有利である。

水不足・水遊休に対するペナルティ費用

構造変化が起こらない場合、大都市Aの計画水需要量に一致させるように供給する方が有利である。

従って大都市Aの水需要量と水供給量を一致させる様な解が得られたのは、水不足・水遊休に対するペナルティ費用の項が大きく作用したためと考えられる。また域外

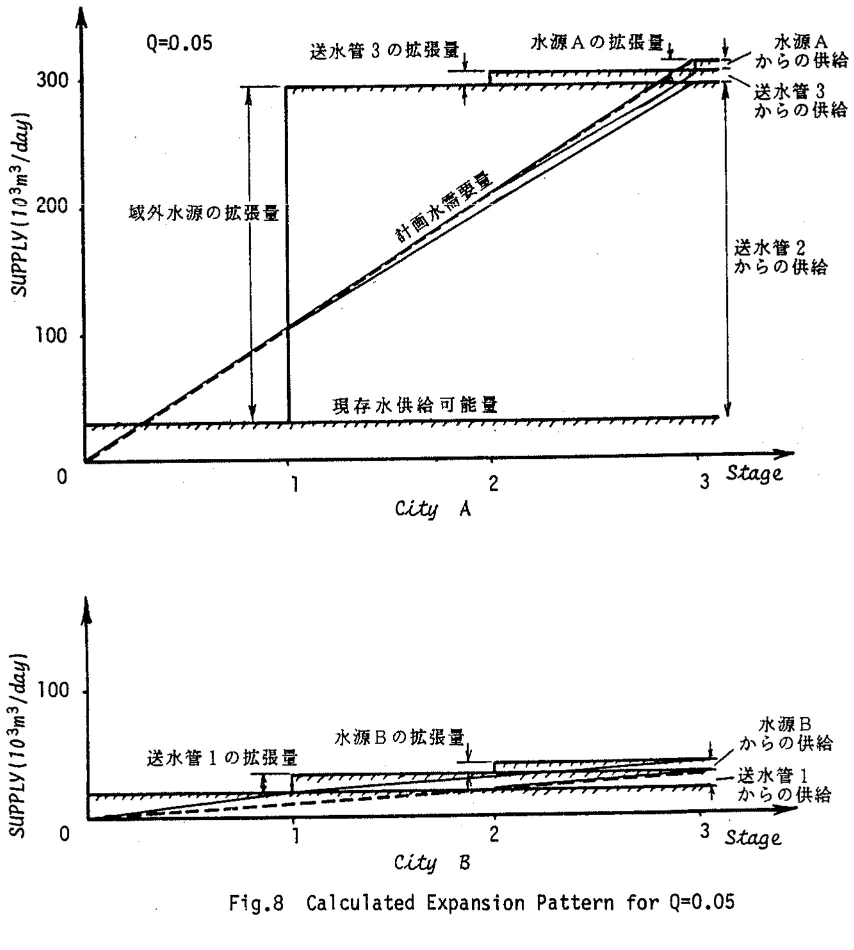


Fig.8 Calculated Expansion Pattern for Q=0.05

水源からの供給が全体の80%を占めているのは、建設費用(規模の経済性)の項が大きく作用したと考えられる。
⑤　Ｆｉｇ．９は構造変化の発生確率0.1の場合で、この水配分方式はステージ１期末で域外水源から、ステージ２期末で小都市Ｂから、そしてステージ３期末で水源Ａから、それぞれ大都市Ａに供用が開始されている。構造変化の発生確率が0.05のものに比べて、域外水源からの供給規模が抑えられ、水源Ａおよび小都市Ｂからの供給規模が少し大きくなっている。これは構造変化の発生確率が大きくなったため、施設遊休に対するリスク回避として供給施設の規模が抑えられたためと考えられる。
⑥　極小解の多くは供給施設を段階的に供用していくという結果になっている。また、構造変化の発生確率が0.05と0.1の場合のいずれも施設の開発量と各ステージでの水の処理量が似通っている。これより、構造変化の発生確率の大小によらず、段階的に施設を供用するのが望ましい供給方式であるといえる。
⑦　以上の様に、構造変化の発生確率が小さい場合は、規模の経済性の面から単一施設を大規模に開発するのが望ましい。また逆に、構造変化の発生確率が大きい場合は、施設遊休に対するリスク回避から施設を分散、配置していくのが望ましい。また、施設の段階的開発は構造変化に伴うリスクを分散させる上でも有効な規模拡張方式であるといえる。

4．むすび

本研究では、水需要の変化に構造変化が生じる場合を

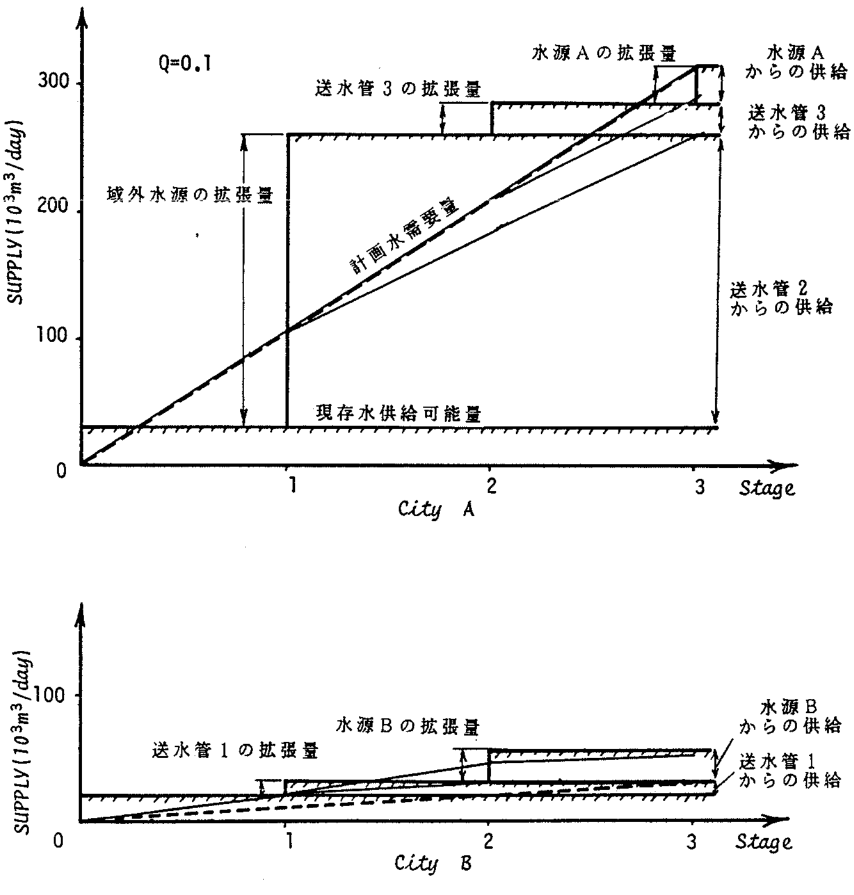


Fig.9　Calculated Expansion Pattern for Q=0.1

想定した上で水利用ネットワークシステムをどのように整備、拡張していけばよいかという問題を取り上げた。さらに、この種の問題が0－1整数型の混合非線形計画モデルとして定式化できることを示した。次いでこの種の複雑な数理計画モデルを解く近似解法を提案するとともに、その有効性を議論した。また、本モデルを多角的に運用して計算を行うことにより、この種の計画問題を科学的に進めていく上で有効と考えられるいくつかの基礎的知見を得た。

今後は近似解法の改善の方法を検討するとともに、より実際的な問題に本モデルを適用して、その実用性を向上させたいと考える。

〈 参考文献 〉

1）Erlenkotter,D.,S.Sechi & N.Okada,Planning for Surprise: Water Resources Development under Demand and Supply Uncertainty, Working Paper No.312, UCLA, 1981.

2）岡田憲夫・清水丞：不確実性下における意志決定支援モデル－水資源開発計画を例にして、第五回土木計画学研究発表会講演集 pp284-294 昭和58年1月.

3）岡田憲夫・清水丞：不確実性下における大規模水資源開発プロジェクトの逐時繰り返し型意志決定方式に関する研究、土木計画学研究・論文集、第一巻、PP211-218 昭和59年1月.

付録　The Complex Method

Complex法は、1965年にBoxによって開発されたものである。目的関数が非線形で、制約条件を含む問題の最適解を見出すのに使われる。

Complex法は始めに、目的関数、および制約条件に含まれる変数の数よりも多い実行可能な点を取り、それぞれの各点の目的関数値を計算し、その点の中で最悪値を持つ点を移動させて、目的関数値を改善していく手法である。complex法のアルゴリズムと手順は以下のとおりである。

初期実行可能点を求める。

初期値は、以下の様にして求める。

$$x_{ij} = x_{iL} + r_{ij}(x_i^{L} - x_{iL}) \quad i=1,2,\cdots n$$

n　：変数の数

x_i^{L}：i番目の変数の許容最大値

x_{iL}：i番目の変数の許容最小値

この点が実行可能であるかどうかを判断し、変数の数より多い点を求める。

最悪値の改善

1）これら求められた点の内、最悪の目的関数値を持つ点を選び出す。

2）最悪値を持つ点以外のすべての中点を求める。

$$x_{iM} = \left(\sum_{j=1}^{k} x_{ij} - x_{iR}\right)/(k-1)$$

x_{iM}：i番目の変数の中点

k　：全体の点(頂点)の数

x_{iR}：最悪値を持つ点のi番目の変数値

3）最悪値を持つ点を中点の反対側に移動させ、新しい点を求める。

$$x_{iN} = \alpha(x_{iM} - x_{iR}) + x_{iM}$$

x_{iN}：新しい点のi番目の変数値

α　：移動距離を示す係数($\alpha \geqq 1$)

新しい点の判定

1）新しい点が、それでもなお最悪値である場合

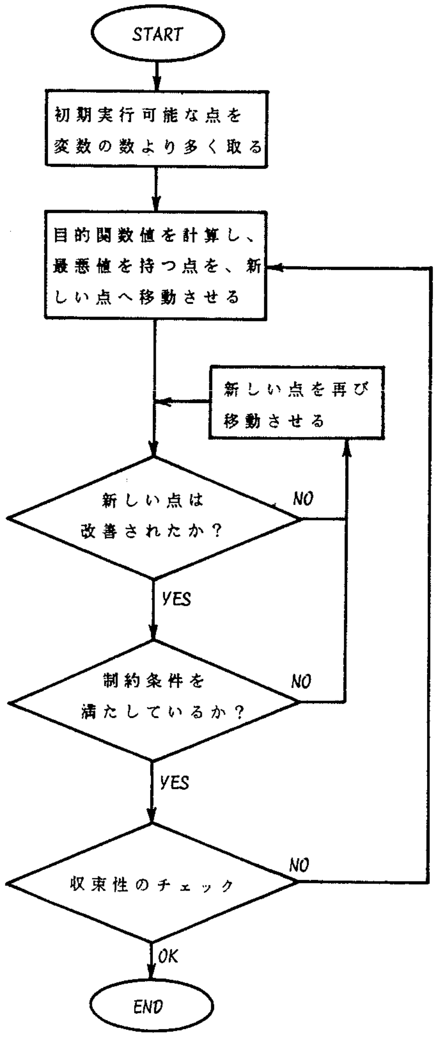
$$x_{iN} = (x_{iN} + x_{iM})/2$$

2）新しい点が、制約条件を満たしていない場合

$$x_{iN} = (x_{iN} + x_{iM})/2$$

収束性

各点(頂点)の変数の値が、ほぼ同一の値になったときあるいは、各点の目的関数値がほぼ同一の値になったとき、収束したものとして解を得る。



Flowchart of Complex Method