

京都大学工学部 正会員 工博 末石 富太郎

" " 工修〇 佐友・恒

1. はじめに

近年、わが国では使用水量が増大し、水源水質も著しく悪化の傾向にあり、また水源水量も年を経るごとに乏しくなりつつあるといえよう。また、ある特定の水源への需要の集中競合も徐々に顕著になり、これらの水源水を各需要者に対して最も合理的に配分する必要性が痛感されるに至っている。そこで、ここでは合理的な水配分法をとり上げるとともに、その意義を種々の角度から検討するための新たに限界費用の概念を導入し、水配分法に影響をおよぼす諸因子の合理化に与える影響量などを求めて、水配分計画の合理化の意義を中深く理解することを可能にした。さらにこの限界費用の概念をさらに拡張して、将来、用水の配分形態が若干変化したとき、水源が供給コントロールを開始した場合の合理的な水配分計画の行い方について簡単に検討を加えたので、以下これらの概要について報告する。

2. 合理的な水量・水質配分計画における限界費用

過去および現在にいたるごとく水源を乏しくなりつつあるといえ、全般的にいつて、まだ水源の潜在供給可能量が需要を上まわり、用水使用者が任意に需要水を選択しえる場合、一般に単位用水コストの安いものから用水を獲得してゆくので、合理的な水配分法は次のようにあらわすことができる。¹⁾

$$X_k = \sum_{i=1}^{I_k} X_{ik}, \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (1)$$

$$X_i^* \geq \sum_{k=1}^K X_{ik} \geq 0, \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (2) \quad \sum_{i=1}^I a_{ijk} X_{ik} \geq (\text{または} <) a_{ijk} X_k, \quad (3)$$

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} C_{ik} X_{ik} \quad (4) \quad (j=1, 2, \dots, J) \quad (k=1, 2, \dots, K)$$

ただし、 i は水源番号、 I は水源総数、 j は水源項目番号、 J は水源項目総数、 k は用水使用者番号、 K は用水使用者総数、 a_{ijk} は k のために i より配分する水の保有する j の値、 a_{ijk} は k に必要な j の制限値、 X_{ik} は k のために i から取水する水量、 X_k は k の必要水量、 X_i^* は i の供給可能最大水量、 C_{ik} は X_{ik} の単位コスト、 Z は総用水経費。

すなわち、合理的な水配分法は(1),(2),(3)式の制約条件のもとに(4)式を最小にする X_{ik} を求めることによって解(X_{ik})を得ることができる。このとき Z は最小値 $Z_{\min}$ となる。さてここで単に用水の合理的配分法を求めることによって、 X_{ik} を解くにとどまらず、結果に影響をおよぼす X_i^* , X_k , a_{ijk} などの各値が全体計画に与えている意味があるもの同一観念から比較検討して評価することができれば、その意義は大きい。たとえば各 X_i^* が最終合理解に与える影響を把握することができれば、いずれの X_i^* が合理化のための障害となっているかなどを容易に理解でき、簡単に水源開発の方向などを示唆することができる。 a_{ijk} についても、同様に合理化のために障害となる水質項目を指摘したり、その障害の大きさを量的に評価したりすることが可能になってくるのである。ところで X_i^* などの影響因子の評価を行なうために、限界費用の概念を次に示すごとく導入することができる。一般に経済学の分野においては、一組の資源から得られる全収入と、その総資源からある資源の一単位を減少したときに得られる全収入額との差額はその減少した資源一単位が収入に対していかに貢献していたかを表していると考えて、これを減少した資源一単位の限界収入とみなすことがあるが、これと同様に考えて、たとえば X_i^* の限界費用 V_i は次のように求めることができる。(2)式において X_i^* のかわりに $(X_i^* - \Delta X_i)$ とおさかえ、他式は元のままとして(1)式から(4)式によって求めた Z の最小値 $Z_{\min}$ と X_i^* をそのままにした元の最小値 $Z_{\min}$ より次のように求める。

$$X_i^* = X_i^{*'} \text{ のとき, } V_i = (Z_{\min} - Z_{\min}') / \Delta X_i, \quad X_i^* - X_i^{*'} \leq \Delta X_i \text{ のとき, } V_i = (Z_{\min} - Z_{\min}') / \{ \Delta X_i - (X_i^* - X_i^{*'}) \}, \quad \text{ただし, } X_i^* = \sum_{k=1}^K X_{ik}, \quad (5)$$

以上のごとくして、他の a_{ijk} , X_k などの影響因子の限界費用をも求めることができるが、これらの限界費用の意味は結局、微小変量 ΔX_i の有無によってどれだけの損益をもたらされるかを金額によって表現したものであり、水量制約条件 X_i^* は全体計画の総経費にかなる増減をもたらすものであるかとい

意味で価値評価される。また先述の(1)~(4)式によって得られる合理解は実際現象を数式に表現したところから若干誤差を含むのはやむを得ない。そこで各数式に表わすことにより各係数に含まれた誤差が最終合理解に与える影響をおよぼすか、すなわち合理解の評価を上記限界費用概念と同様の考え方で検討することも可能である。

3. 新たな水需給計画における限界費用の応用。

過去および現在の水需給関係は、2.にも記したごとく、水と使用者が任意に選択して用水を獲得し、一般に水源の配分意志(どちらに配合しようかという選択)は何ら加味されなかった。したがって合理的な用水配分法を先述の(1)~(4)式のごとく考えることができた。さらに、近年明らかにその傾向が現われているように、水源は欠乏し近い将来水源が非常に不足してくると、それに依りて需要者の競合はいつぞやはげしくなってくるものと考えられる。ある場合の水需給関係では当然供給者の立場は優位となり、当然供給者の意志が加味されてくるであろう。その結果、供給、需要両者が平等な立場で用水とコストの交換が行われるにいたるであろう。この場合の合理的な用水配分法は前のように取扱うことはできなくなり、次のごとく目標式を(4)式)と考える必要がある。いま、水量 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$ が使用者に供給されて発揮する効用 U を求めることとできれば、 U は $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$ の関数として次のごとく表わされる。 $U = U(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}) \dots (8)$

ところで、各 X_{ik} の限界効用(限界費用に相当する) U^{ik} は次のごとくなる。 $U^{ik} = \frac{\partial U}{\partial X_{ik}} \dots (9)$
ところで水の供給者、すなわち水源は供給した水の効果を最大ならしめることを要求できる立場に²⁾なっていると考えられるので、限界効用均等の法則²⁾が目標として成立する必要があると考える。したがって、 $U_{X_{i1}}^{ik} = U_{X_{i2}}^{ik} = \dots = U_{X_{ik}}^{ik} \dots (10)$

なお、(10)式が(1)~(3)式と共存しえるとは一般に限定されて、(10)式のまゝの形で問題を解くことはできず、Step by Stepに解くと、 U^{ik} 、 C_{ik} の関数(に)考慮を払ってはじめに解決として確立されるものとする。簡単な一例として、水質制限(3)式を省略した場合について次のごとく考えることもできよう。 C_{ik} の実際値は一般に、 $C_{ik} = m_{ik} \cdot X_{ik}^{n-1} \dots (11)$ 、と表わすことができる。(ただし、 m_{ik} , n は定数($n < 1$))、また水のもたらす効用 U は各水量に一次的に比例して増加するものと考えれば、 $U = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K A_{ik} \cdot X_{ik} \dots (12)$ 、(ただし A_{ik} は定数)のごとく表わされる。したがって、 $U^{ik} = A_{ik} \dots (13)$ 、そこで(11)、(13)式より、 $A_{i1}/m_{i1} \cdot X_{i1}^{1-n} = A_{i2}/m_{i2} \cdot X_{i2}^{1-n} = \dots = A_{ik}/m_{ik} \cdot X_{ik}^{1-n} = K \dots (14)$ 、(ただし、 K は定数)、以上の結果、最も簡単な場合は(1)、(2)、(14)式によって X_{ik} を求めればよい。ただし、一回の計算で解を満たすことができない場合は K の値を徐々に大きくしながらStep by Stepに解けばよい。(なお、(14)式は管路水流による損失水頭値と同型に表現されるところから、(14)式を管路に仮想して、水流模型によって上記問題を解くこともできる。)

4. おわりに 以上は用水配分法の合理化について限界費用の概念を導入しつつ検討を行ったものであり、この種の研究は今後ますます重要になってくるものと考えられ、すぐに行われたものとして東大・徳平、市川両氏の研究³⁾などがある。本文では特に2.において水量・水質を同時に考慮した理論上における合理的な用水配分法の利用範囲拡張に一定の成果を得ることができた。また3.においては、近い将来の合理的な配分法について基礎的検討を行なったものであるが、必ずしも十分な成果を得るに至っていない。したがって、今後の研究の方向づけを得ることができたので、ひきつづき、この点を究明してゆく予定である。

4. おわりに

以上は用水配分法の合理化について限界費用の概念を導入しつつ検討を行ったものであり、この種の研究は今後ますます重要になってくるものと考えられ、すぐに行われたものとして東大・徳平、市川両氏の研究³⁾などがある。本文では特に2.において水量・水質を同時に考慮した理論上における合理的な用水配分法の利用範囲拡張に一定の成果を得ることができた。また3.においては、近い将来の合理的な配分法について基礎的検討を行なったものであるが、必ずしも十分な成果を得るに至っていない。したがって、今後の研究の方向づけを得ることができたので、ひきつづき、この点を究明してゆく予定である。

(参考文献)

- 1) 佐友：線型計画法における工業用水取得計画について、土木学会、19回年度学術講演会、講演概要。
- 2) Hirshleifer, Millman and Dehaven : Water Supply, Economics, Technology and Policy. Univ. of Chicago
- 3) 徳平、市川：上水道資源の開発に関する考察、土木学会、19回年度学術講演会、講演概要。