

広域的な水利用問題に関するゲーム論的アプローチ

京都大学 正員 吉川和広
鳥取大学 正員 岡田寛夫
京都大学 学生員 〇 窪田晴希

1. はじめに.

1水系流域の上中下流域がそれぞれ異なる行政体へ属し、それぞれが水利用方式の選定を必要とする場合について考える。この際、水利用方式に課せられた要件として、①経済効率性の達成、②需要量の充足、③排水処理と排水汚濁の規制、の3要件があるとす。この場合、各地域ごとに単独に取水・浄水施設、下水処理施設を建設することは可能であるが、取水・排水先として、同一水系を利用するため、相互の水利用は全く独立には行えず、むしろ、相互が協力して、統一的水利用を行う方が望ましい可能性があり、そこに隣接する地域間の提携の必要性が生ずる。

このような提携が、実際に何らの行政体にとって合理的かどうかは、①提携の形態と、②費用配分の結果いかんにかかっていると言えよう。この提携問題は今後実際の問題でも十分に起りうる問題であり、この場合、各地域の行政体による十分な情報交換システムが必要となる。

本研究では、この問題をゲーム理論にモデル化することにより、1つの有効な情報システムの提示を試みることにする。具体的には、各行政体をプレイヤーとした場合の協力的なゲームの解により、コア、仁などの概念を援用して費用配分の方法を検討するが、同時に、このような妥協を要する解が水利用形態からみればどのような意味をもつのかという点にも言及する。

2. 提携パターンの選定

考えうる提携パターンは、1水系であるために河川流量・水質の制限により次の5つであるとす。

- ケース1 共同建設はない
2 上流域と中流域が提携する
3 中流域と下流域が提携する
4 上流域と下流域が提携する
5 全流域での共同建設を行う。

経済的に有利なパターンを定めるため、上記5ケースについて次の最適化問題を解く。

★制約条件 $i, j \in S$, S は提携に加わった地域の集合。

- (1) 需要条件 $S_i \leq x_i + \sum y_{ij} - \sum y_{ji} + \bar{z}_i$
(2) 流量条件 $Q_i - A_i \geq x_i$
(3) 処理条件 $T_i \geq -\sum z_{ij} + \sum z_{ji} + z_i' + z_i'' + \bar{z}_i$
(4) 水質条件 $B_i \geq \frac{1}{Q_i} (B_{in}(Q_i - x_i) + b_i' z_i' + b_i'' z_i'')$
 S_i : 需要量, x_i : 取水量, y_{ij} : i から j への送水量
 Q_i : 流量, A_i : 維持流量, T_i : 処理容量
 z_{ij} : i から j への下水送水量, z_i' : 一次処理放流量
 z_i'' : 二次処理放流量, $\bar{z}_i$: 三次処理再利用量
 B_i : 水質基準, b_i' , b_i'' : 汚濁負荷量

★目的関数 総建設費用

$$\sum a_i x_i^{b_i} + \sum a_{ij} y_{ij}^{b_{ij}} + \sum a_{ji} y_{ji}^{b_{ji}} + \sum a_i' z_i'^{b_i'} + \sum a_i'' z_i''^{b_i''} + \sum a_i \bar{z}_i^{b_i} \rightarrow \min$$

a, b : 費用係数

可分計画法により、各種の提携問題を解き、総建設費が表1のように求められた。このから明らかなように、全流域の共同建設がこの

水系において最も経済的であると見え、かつ、この提携の有効性が期待できる。

3. 費用配分

次にこの場合の費用配分の方法について

を考えると、まず、各々の提携別の費用 $C(S)$

を求め、便宜上、次の方法を基準化すると表2のようになる。

$$v(S) = \sum_{i \in S} C(i) - C(S)$$

ここで $v(S)$ は、各種提携 S の節約費用であり、これを提携 S の特性関数と呼ぶ。特性関数 v を定めることにより、3人ゲーム (N, v) が定式化され、節約費用配分の問題となる。

さて、以上のように定式化された協力的なゲームの解は、節約量の配分 $\phi_i^H(x_i)$ (ここで ϕ はアロケーション) によって求められる。他ならないが、ここでは、コア、仁の2つの概念にもとづいて、配分 ϕ を求める。

表1 提携パターン別総建設費用 (1000/年)

ケース	上流域	中流域	下流域	合計
1	5580.3	11283.4	32445.0	49308.9
2	15681.8		29878.5	45560.3
3	5839.0		39534.7	45373.7
4	33865.0	10495.8		44360.8
5		40553.4		40553.4

表2 特性関数

$v(1) = v(2) = v(3) = 0.0$
$v(12) = 1182.09$
$v(23) = 4193.77$
$v(13) = 4160.54$
$v(123) = 8755.58$

(i) コア

コアは次の2式により定義される。

$$\sum_{i \in S} X_i \geq v(S), \quad \sum_{i \in N} X_i = v(N).$$

すなわち、似合合理性と呼ばれ、具体的には提携に於けるパイオフが最近の保証 $v(S)$ 以上であることが必要と意味し、2式は、配分が3地域共同のパターンに於いて行なわれることを示すので完全合理性と呼ばれる。

図1に示すように、コアは閉凸領域として定められ、その中のどの点も安定と見做される。これは各地域が最近保証水準を維持可能な配分以上を期待しないことによるものであり、さらに1点を求めるためには、他の基準を必要とする。

(ii) 仁

1つの共同パターン β が採用されたとき、他の共同パターンでのパイオフを考え、その差異を不満量と見做す。提携とは β において、そのパイオフ (X_i^0) について、

$$e(S, X^0) = v(S) - \sum_{i \in S} X_i^0$$

なる不満量をもつことになる。この不満を均等化するため、最大不満の最小化を行つたものが γ の考えである。つまり $\max_i e(S, X)$ を最小にする (X_i^*) を求めることになる。3人ゲームの場合、この (X_i^*) は一意に求められ、図1の点Pとなる。この仁の論理は、前述のコア内での交渉の結果と見做されるものがあり、一般的に次のように与えられる。

$$\begin{cases} X_i^* = d_i + \frac{1}{n}(v(N) - \sum_{i \in N} d_i) \\ d_i = v(N) - v(N - i) \end{cases}$$

ここで、 d_i は i が全体提携に及ぼす貢献度を示し、 X_i^* は、全プレイヤーの貢献度を平均化したものと、 d_i を加えたものとして、均等化する場合をもつ。

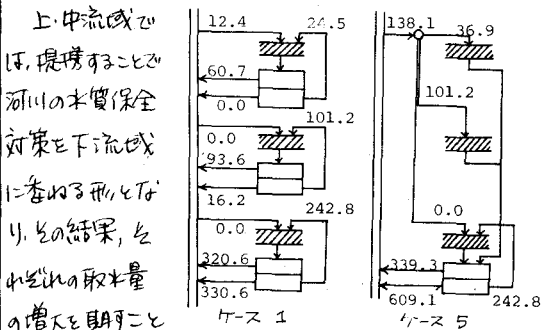
4. 結果の考察

表3より、上・中流域への節水量の配分量がほぼ等しく、これに対し下流域はその3倍弱となることが知られる。すなわち、表2の特性関数の性質上、下流域の提携力が大きく節制交渉をもつてに対し、上・中流域の提携はそれほど効果をもたないためである。

一方、図2の(ア)に、提携のいかんにかかわらず、下流

域がどのような取水パターンに変化しないことが言えるから、結局、下流域の行政体系では、下流域と他の流域と共同することによって、治水交渉性の向上を期せしむるわけである。すなわち、下流域にとって、提携は絶対必要なことであり、中心となって提携をすすめることは、十分合理的であると云ふ。

図2 水利用方式 (10³m³/day)



ができる。このため、下流域がすすめる提携に力加わる意味があると言ふ。

結局、各地域にとって、仁による費用配分は、他のどの共同パターンの費用を考慮しても、安価に実現でき、水利用方式の満たすべき要件を兼ね備えているから、それ自体、有望な妥協案と考えらる。ただし、実際問題としては、ここで取り上げた明示的な費用のみならず、各種の機会損失費用や便益、交通費をもあわせて、総合的な観点からの調整が必要になることは言うまでもない。

表3 費用配分 (10⁴円/年)

	上流域	中流域	下流域
施設費	5580.5	11283.4	32445.0
節約費	-1903.6	-1936.8	-4915.2
配分費用	3676.9	9346.6	27529.8

参考文献

- 鈴木光男・中本健一郎 社会システム・ゲーム論的アプローチ 共立出版 1976.
- 大内忠臣 1水系流域における広域的・多目的な水利用方式に関する2次元分析 京都大学工学論文 1977