水資源共同開発へのゲーム理論の応用

鈴木光男

1. 水資源の共同開発

水資源の開発が困難になってくるにつれて，自治体や企業体，農業団体などによる水資源の共同開発が行なわれるようになりつつある．そのさいの問題点の1つに，いかなる団体がこの共同開発に参加し，そしてその参加者の間で費用をどう処分するかの問題がある．この問題はすぐれてゲーム理論的問題であり，われわれはそれに対する1つの方式をゲーム理論にもとづいて提案したいと思う．

水の有効利用の1つとして農業用水の高度利用がある．農業用水は季節的なものであり，その利用の方法の改善によってかなりの剰余が生ずると思われるので，その剰余を都市用水に転用することが考えられる．したがって水資源の新規開発にあたっては，農業用水として水資源を利用している団体も含めた，総合的な共同開発計画をもつことがのぞましい．

しかし現在のわが国の制度では剰余水があるとしても，その水利権は農業側にあり，都市水道事業者がそれを自由に利用することができるわけではないので，農業用水の都市用水への転用を含む共同事業はかならずしも円滑に行なわれているわけではない．そこで農業用水の水利権保持者にも共同開発に参加してもらうためには，それに対するなんらかの見返りがなければならない．

従来土地の転用のさいなどにとられてきた考え方は「補償」という概念である．すなわちそれは損害の償いという考えである．しかし，転用によって生ずる損害を補償するのは当然のことであり，とくに剰余水の場合には損害がゼロならば，補償はゼロになり，彼らが長い間苦労して資源を保持してきたことに対する報いはなにもないことになる．

そこで参加に対する報酬というものを考えなければならないことになり，適切な報酬とはなにかということが問題になる．

いま新規水資源の開発事業を，都市用水事業主体と農業用水水利権保持者との2つのタイプの主体の共同事業として，ダムの建設と農業用水の都市用水の転用とによって行なわれるものとする．そしてその参加主体の間，その共同事業の成果や費用が配分されるものとする．

その配分方式について，すべての主体が同意するときはじめてこの事業は共同事業として成立可能になるわけであるが，われわれはゲーム理論における1つの解の概念を適切な配分方式として提案したいと思う．

2. 共同開発モデル

当面の開発事業への参加者の集合を

$$N=\{1,2,\cdots,n\}$$

とし，各主体の開発予定の年間取水量を δ_i とす

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

る．Nのサブ・グループSだけで開発事業を行なったときの開発費用をC_Sとし，Sという共同事業としての成果を，Sのメンバーiが単独で開発事業をした場合の開発費用$C_{\{i\}}$(簡単のためにC_iと書くことにする）を考え，その和よりどれだけ費用が減少したかによって測ることにする．すなわち，グループSのグループとしての純開発成果を$V(S)$とすると

$$V(S)=\sum_{i\in S}C_i-C_S$$

とあらわすことができる．$V(S)$がマイナスの場合には，そのような共同事業が行なわれないことはいうまでもない．

ここで参加主体の集合Nを農業用水水利権保持者の集合Aと都市水道事業者の集合Bとにわけ，農業用水に関しては新規需要はないものとして

$$\delta_i=0,\ (i\in A)$$

とし，$\delta_i>0(i\in B)$とする．

単独開発費用C_iについては，農業団体では新規開発は行なわないから，$C_i=0(i\in A)$で$C_i>0$ $(i\in B)$である．

つぎの問題は開発費用C_Sの算定である．この共同事業においては，ダム建設と農業用水の転用による開発を行なうわけであるから，開発費用はダム建設事業費と転用事業費の2つからなる．いま問題の焦点を転用の問題におくために，ダム建設にともなう問題は解決ずみと考える．転用事業費は，転用にともなう直接工事費と水利権保持者に対する転用補償費とにわけることができる．

いまx_{ij}を農業水利団体iから水道事業者jへの年間転用水量とする．逆の転用はないものとして，$i\in A$，$j\in B$のときのみ$x_{ij}\geqq 0$で，それ以外の場合は$x_{ij}=0$とする．またy_iを主体iのダムからの年間取水量とし，$y_i\geqq 0(i\in B)$，$y_i=0(i\in A)$とする．

グループSが提携したときの共同事業の費用C_Sは，転用工事費をT_S，転用補償費をF_S，ダム事業費をD_Sとすると

$$T_S=\sum_{i\in S}\sum_{j\in S}e^S{}_{ij}x_{ij}$$

$$F_S=\sum_{i\in S}\sum_{j\in S}f_{ij}(x_{ij})$$

$$D_S=\sum_{j\in S}d_j{}^S y_j\quad (S\cap B\neq\phi)$$

とあらわされる．これらの費用は技術的な観点から十分に吟味され，納得のゆく形で推定されるものとする．

この費用関数は，そのなかに補償費を含むことが特徴である．それは技術的に推定されるものとして，かつ費用の1部として算定される．

そのときのグループSの開発費用C_Sは

$$\sum_{j\in S}x_{ij}+y_i\geqq\delta_i\quad (i\in S)$$

という制約のもとで

$$C_S=\min_{x^S,y^S}\{T_S(x^S)+F_S(x^S)+D_S(y^S)\}$$

として求められる．x^S，y^SはグループS内でのx_{ij}，y_iを示す．

この最小化問題を解くことによって，C_Sとともに，x_{ij}，y_iがえられる．そのことは提携S内で，農業用水がどのように転用され，ダムからはどの程度取水すべきかを示すものである．

C_Sが算定されれば$v(S)$は容易に求めることができる．$v(S)\geqq 0$であるようなグループSは，1つの共同事業として提携して事業をする可能性があるわけで，このようなグループを許容提携または単に提携とよぶことにする．Nの空でない任意の部分集合について定義された関数$v(s)$をこのモデルの特性関数といい，このモデルは主体の集合Nと特性関数vとの組(N,v)によって表現されることになる．このような形で表現されたモデルを特性関数形のゲームという．

3. 公平な分配としての仁

いまこの共同事業の参加者の受け取る利得をp_iとすると，それは各参加者が単独で事業をした場合にえられると期待される利得以下であっては，その参加者はこの共同事業に参加しようとは

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

しないであろうから，すべての $i \in N$ について

$$p_i \geqq v(\{i\}) = C_i - C_i = 0$$

でなければならない．彼はこの利得分を受けとることによって，この共同事業に対して

$$q_i = C_i - p_i \leqq C_i$$

だけ支払うものとする．また全体の利得はすべての参加者に分配されるから

$$\sum_{i \in N} p_i = v(N)$$

したがってまた

$$\sum_{i \in N} q_i = C_N$$

でなければならない．

利得ベクトル $p = (p_1, p_2, \cdots, p_n)$ が上の2つの条件をみたしているとき，この利得ベクトルを配分という．

問題はこの配分 p のなかから適切なものとしてどのような配分を選ぶかということである．われわれはそれが仁 (nucleolus) という配分によって合意に達することを期待したい．仁というのは特性関数形ゲームの解の1種であって，解としてのぞましいさまざまな性質をそなえている．

n 人の参加者が全体として協力して共同事業をするにしても，その部分集合 S だけで提携して共同事業をする可能性があるわけであるから，提案された配分 p に対して，ある提携 S は S だけで事業をした場合の可能な値 $v(S)$ にもとづいて

$$e(p, S) = v(S) - \sum_{i \in S} p_i$$

というものを考えるであろう．これは配分 p の場合に S のメンバーが受け取る利得の和と S としての可能な値 $V(S)$ とを比較したもので，この値が大きいほど，S は p に対して不満をもつと考えることができる．すなわち $e(p, S)$ は p に対する S の不満，あるいはリーグレットである．

すべての提携について，この不満の大きさが求められる．2つの配分 p^1, p^2 があったとき，それに対するすべての提携の不満を求め，それぞれの最大の不満を比較して，それが小さいほうがより受容的であると考えることができる．もし最大の不満が等しい場合には2番目に大きい不満を比較して，その小さいほうを受容的とする．すなわち，辞書式順序によって比較し，小さいほうを受容的と考えることにすると，すべての配分の間の比較が可能になって，ある1つの配分がえられる．この配分が仁である．すなわち仁は最大の不満を最小にする配分であるということができる．

このような意味で仁という配分は，プレイヤー間に利得を配分するにあたって考えられる公平な分配の1つということができる．

なにが公平かは議論のあるところであるが，たとえばロールズの公平原理もその1つとして注目されているが，実は仁はこのロールズの公平原理と基本的に類似の概念である．そのことについては鈴木(1)を参照されたい．

ゲームにコアがある場合には仁はコアに含まれ，またゲームの交渉集合，カーネルにも仁は含まれる．その意味で仁はゲーム理論的な視点からみて，きわめて安定性の強い解の概念である．その意味でも実現性が高いといえる．

4. 水資源開発における仁

われわれのモデルにおいて，仁 p^* を求め，費用負担を求めれば

$$q_i^* = C_i - p_i^*$$

としてえられる．農業水利権保持者は $C_i = 0$ であるから，$q_i^* = -p_i^*$ となる．このことは農業水利権保持者はこの共同事業に参加し，農業用水の都市用水への転用をみとめたことへの報酬として p_i^* を受け取ることを意味する．転用にともなう損害の補償は費用関数のなかに入っており，したがってこの p_i^* というのは補償分をこえて支払われる部分である．現実には，補償の名目でかなり広い概念の項目について水利権保持者に補償金が支払われるというケースが多いが，補償はあくまで損失にともなう補償として，できるだけ客観的に測定したうえで，さらに転用を認めたことに対

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

する報酬はそれ自体として別の角度から算定し，適切な額を支払うべきであるというのがわれわれの基本的な考え方である．

この基本的な考え方にもとづいて，農業水利権団体を単に補償を支払う対象としての団体ではなく，ともに共同事業を行なうプレイヤーの1人として加えたことが，このモデルの特徴になっている．これはいわば都市と農村との連帯にもとづく共同事業という発想にもとづいているといってもよい．仁という配分を実現するためには，関係する主体が全体として協力関係にあるということが前提となっていることも，都市と農村とが連帯し，すべてがプレイヤーとしてゲームに参加し，かつすべてのプレイヤーが1つの共同事業の参加者としてこの共同事業を成功させようとしたとき，仁は現実に実現可能な解となるということができる．

なお参考文献2)3)で，われわれの考え方にもとづくケース・スタディを行なっている．

参考文献

1) 鈴木光男：計画の倫理，東洋経済新報社，1975

2) 鈴木光男，中村健二郎：社会システム，共立出版社，1976

3) M. Suzuki, M. Nakayama ; The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development ; Management Science, June 1976

すずき・みつお　1928年生　東京工大理学部教授
1952年東北大学経済学部卒　経済学博士
東北大学経済学部講師，プリンストン大学リサーチ・アソシエート，東京工大工学部助教授，教授を経て現職．
専攻：ゲームの理論

論文投稿のおすすめ

ご承知のように，本学会の論文誌は，従来，英文誌と和文誌の2本立てでしたが，本年度からはそれらを統合し，英文名を Journal of the Operation Research Society of Japan，和文名を「日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌」として新発足いたしました．

と同時に，判型もB5判として従来の英文誌より大きくし，ページ数も約100ページと倍増いたしました．このため，掲載論文数は倍以上にふえ，いままで滞っていた論文もほとんどなくなりました．現在の審査状況はつぎのとおりです．

〔英文論文〕 採択決定　7編，　審査中　10編，
訂正依頼中　9篇

〔和文論文〕 採択決定　2篇，　審査中　6篇，
訂正依頼中　5篇

きたる6月15日に発行を予定しております No. 2には，英文論文の採択決定7篇はすべて掲載されます．従来は掲載待ちの状態が長く，どうせ投稿してもなかなかのらないから，ということで，他の学術誌に掲載を希望された会員も多かったようにうかがっておりますが，このような悪い状況は一掃されました．今後は審査さえ通れば，かなり早い機会に掲載されるとお考えくださって結構です．

以上のような状況ですので，いますぐにご投稿されたといたしますと，審査の進行如何では英・和文とも今年中に掲載されうることが十分に予想されます．どうか，ふるってご投稿ください．

論文誌の編集体制について

論文誌の編集方針や審査の進行については直接の責任を editor が負い，associate editor とともに具体的な処理を担当いたします．そしてその際，全国各地におられる advisory board のメンバーの助言を仰ぎます．会員各位で論文誌に対してご意見やご希望をおもちの方は編集委員会またはこれらの担当者にご連絡ください．

本年度はつぎの方々に以上の役をお願いしています

editor　渡辺　浩(筑波大・社会工学系)
associate editor　高森　寛(青山学院大・経)
〃　梅沢　豊(東大・経)

advisory board

青木兼一(広島大・工)	古川長太(九大・理)
出居　茂(早大・シ研)	伊理正夫(東大・工)
松田武彦(東工大)	三根　久(京大・工)
宮川公男(一橋大)	本告光男(中部電力)
西田俊夫(阪大・工)	斉藤嘉博(NHK)
佐々木綱(京大・工)	千住鎮雄(慶応大・工)
司馬正次(筑波大・社工)	竹内　清(東北大・経)

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．