

節水と地域間の水取引による渇水リスク分散方法の検討*

Drought Risk Allocation by Saving Water and Regional Water Transaction *

岡 徹***・高木朗義***

By Toru OKA** and Akiyoshi TAKAGI***

1. はじめに

渇水リスクは、流域面積などの地理的条件や水利権などの歴史的条件によって地域間に格差がある。そのため河川法の平成9年における改正によって、渇水調整の協議の円滑化や、利水者相互間の水融通の円滑化が規定されている。しかし具体的な方法についてはいまだ確立されておらず、地域間格差は縮まっていないと考えられる。したがって、このような地域で異なる渇水リスクを分散し、より望ましい社会としていくための方法を検討する必要がある。なお、渇水リスクの格差の問題には地域間のみならず主体間の問題もあるが、本研究ではひとまず主体間の問題は取り扱わず地域間の問題のみを考える。一方、人々は渇水リスクを回避する手段として、節水を行う。すなわち平常時に節水して、渇水時における生活用水量を確保することにより、渇水の生起確率を小さくするというものである。

そこで本研究では渇水リスクを分散する方法として、節水および渇水時における地域間での水取引を取り上げて検討することを目的とする。具体的には、節水および渇水時の地域間の水取引を考慮した水消費に対する家計の行動モデルを定式化した上で、最適な節水量の条件式を導出するとともに、社会的厚生関数を定義して地域間における、水取引に対する最適配分条件式の導出を行うものである。

2. 関連既往研究の整理

横松・小林¹⁾は、中央政府が危険地域の地方政府に対して、ある水準の補助金の提供と、危険地域への人口移動を抑制するための地域間財政移転を行い、地方政府が自主的な行動を取った場合に、最適な地域間資源・リスク配分が達成可能であることを示している。これは渇水時に、生活用水に余裕のある地域と逼迫した地域での水取引によって、最適なリスク配分が達成できる可能性を示している。実際、米国のカリフォルニア州では、水の市場化²⁾によって生活用水を取引する方法が、水政策の新たな方向性として提案されている。

一方、多ヶ納³⁾は水配分の効率性を最大化するという意味で、できるだけ給水圧を均等化するような給水方が望ましいことを示している。これはできるだけ公平にリスクを分散することが、水配分の効率性を最大化することを意味している。すなわち節水や水取引により地域、状態にかかわらず一人当たりの水供給量をなるべく等しくすることが効率性を高める可能性を示している。

3. 評価モデルの構築

渇水は自然災害のひとつであるが、普段の生活用水使用量によって災害の規模が変化するものである。また災害が徐々に進行するため、災害時においてもリスク分散が可能である。すなわち、他の自然災害と異なり事中において機能するリスク分散方法が存在するという特徴を持つ。そこで本研究では、この2つの特徴を踏まえた渇水リスク分散方法、すなわち節水と地域間での水取引を取り上げる。ここではこの2つを評価するために、家計の行動モデルと社会的厚生関数を定式化する。

*キーワード：リスクマネジメント、水資源計画

**学生員，岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1，

TEL058-293-2445，FAX058-230-1248)

***正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

(1) モデルの仮定

湧水は不確実なものであるため、その生起確率を考える。生起確率は節水量に依存した関数とし、簡略化のため平常時と湧水時の 2 つの状態のみとする。

家計は平常時には節水を考慮した上で生活用水を需要する。湧水時には生活用水は当該地域の取水制限をかけられた供給量と他地域との水取引量と節水量の和となる。

簡略化のため A,B の 2 地域を考える。すなわち湧水時の調整では、2 地域間での水取引を想定する。また、地域間で取引した水取引量は各地域の家計に分配する。

(2) 家計の行動モデル

家計は、予算制約下で期待効用が最大になるよう行動する。それは以下(1)~(3)式のように定式化できる。

$$V_j = \max_{z_j^0, z_j^1, a_j^0, x_j} (1-f_j(x_j))U(z_j^0, a_j^0 - x_j) + f_j(x_j)U(z_j^1, \bar{a}_j^1 + y + x_j) \quad (1)$$

$$s.t. \quad p^0 z_j^0 + q_j(a_j^0 - x_j) = \Omega_j^0 \quad (2)$$

$$p^1 z_j^1 + q_j(\bar{a}_j^1 + x_j) + ry = \Omega_j^1 \quad (3)$$

ここで、 V_j : 期待効用関数、 f_j : 湧水の生起確率、 U_j^i : 効用関数、 p^i : 合成財価格、 z_j^i : 合成財需要、 q_j : 生活用水価格、 a_j^0 : 平常時における生活用水需要量、 x_j : 自主的な節水量、 Ω_j^i : 一般化可処分所得、 \bar{a}_j^1 : 湧水時における生活用水供給量、 r : 水取引価格、 y : 水取引量、 j : 地域を表す添え字(A or B)、 i : 状態を表す添え字(0; 平常時、1; 湧水時)。

(1)式は期待効用関数を表す。平常時の効用関数は合成財需要量、水需要量、節水量によって構成され、湧水時の効用関数は合成財需要量、水供給量、水取引量、節水量によって構成されている。(2)式は平常時の予算制約式を表す。合成財需要と水需要が可処分所得に等しくなっている。(3)式は湧水時の予算制約式を表す。合成財需要と、当該地域からの生活用水供給量と節水量、他地域からの水取引量にそれぞれの価格を乗じたものが可処分所得に等しくなっている。

(3) 社会的厚生関数

地域間の湧水リスク分散方法を評価するために、社会的厚生関数⁴⁾を用いて社会全体の厚生を定義する。社会的厚生関数とは、社会全体の良し悪しを「社会的厚生」の大きさを測り、この社会的厚生が何に依存して決まるかを示したものである。

ここでは次のような CES 型社会的厚生関数を用いる。

$$SW = \max W = \left[\sum_{j \in J} V_j^{1-e} \right]^{\frac{1}{1-e}} \quad (4)$$

ここで、 SW : 社会的厚生水準、 $e (\geq 0)$: 公平性への社会的配慮の強さを表すパラメータであり、これが大きい程公平性により考慮した社会的価値規範を表すことになる。

また、CES 型社会的厚生関数は、パラメータ e の値を変えることによって、以下のような代表的な社会的厚生関数に分類される。

$$W = \begin{cases} \sum_{j \in J} V_j & fore \rightarrow 0 : \text{ベンサム型} \\ \prod_{j \in J} V_j & fore \rightarrow 1 : \text{ナッシュ型} \\ \min\{V_1, \dots, V_j\} & fore \rightarrow \infty : \text{ロールズ型} \end{cases}$$

(a) ベンサム型社会的厚生関数

ベンサム型社会的厚生関数では、地域 j における代表的家計(以下家計)の効用が 1 単位増加すれば、社会的厚生が 1 だけ増加するため、どのような効用水準にある個人であっても、その効用が増大すれば、社会的厚生は等しく増加することになる。すなわち、ベンサム型社会的厚生関数は、功利主義的な社会的価値規範を表現していると解釈できる。ベンサム型社会的厚生関数は、伝統的な費用便益分析における社会的便益の計測において採用されているといえるが、個人間配分状況が全く考慮されていないため、公平性にかかわる社会的価値規範としては適正を欠いているといえる。

(b) ナッシュ型社会的厚生関数

ナッシュ型社会的厚生関数では、家計の効用が 1 単位増加すれば、ある家計以外の家計効用の積だけ社会的厚生が増加するため、家計の効用水準が他の家計の効用水準よりも相対的に低いほど、その効用の増加はより大きな社会的厚生の増加をもたらすことになる。すなわち、ナッシュ型社会的厚生関数は、

平等主義的な社会価値規範を表現していると解釈できる。

(c) ロールズ型社会的厚生関数

ロールズ型社会的厚生関数では、ある家計が社会構成家計のうち最も効用水準が低いときに限り、その効用が1単位増加すれば、1単位だけ社会的厚生は増加するが、そうでない場合には、いくらその効用が増加しても、社会的厚生関数は増加しない。すなわち、ロールズ型社会的厚生関数は、ロールズの公正主義的な社会価値規範を表現していると解釈できる。

4. 最適な渇水リスク分散方法

(1) 最適な節水量

(1)~(3)式を解くと以下のような水需要量の最適配分条件式が得られる。

$$\frac{\partial U(z_j^0, a_j^0 - x_j)}{\partial a_j^0} = \frac{\partial U(z_j^0, a_j^0 - x_j)}{\partial z_j^0} \frac{q_j}{p^0} \quad (5)$$

次に節水量の最適条件式は以下ようになる。

$$\left\{ \frac{\partial(1-f(x_j))}{\partial x_j} U(z_j^0, a_j^0 - x_j) + \frac{\partial f(x_j)}{\partial x_j} U(z_j^1, \bar{a}_j^1 + y + x_j) \right. \\ \left. + (1-f(x_j)) \frac{\partial U(z_j^0, a_j^0 - x_j)}{\partial x_j} + f(x_j) \frac{\partial U(z_j^1, \bar{a}_j^1 + y + x_j)}{\partial x_j} \right\} \\ \left\{ (1-f(x_j)) \frac{\partial U(z_j^0, a_j^0 - x_j)}{\partial z_j^0} \frac{1}{p^0} - f(x_j) \frac{\partial U(z_j^1, \bar{a}_j^1 + y + x_j)}{\partial z_j^1} \frac{1}{p^1} \right\} = -q_j \quad (6)$$

(5)式は平常時の生活用水需要量に対する限界効用が、合成財需要量の限界効用に生活用水価格と合成財価格の比を乗じたものに等しい。言い換えれば、家計が生活用水量を1単位変化させたときの効用の変化が、合成財需要量を1単位変化させたときの効用の変化分に価格の比を乗じたものと等しいという条件式である。これは加重限界効用均等の法則とも呼ばれる。

(6)式の左辺分子部分は、節水量の限界期待効用になり、節水量1単位変化させたときの期待効用の変化分である。右辺は費用関数を節水量で一階微分を取ったものであり、限界費用をあらわしている。ここで、最適な節水量の条件として生起確率の含まれた関数となることがわかる。

(2) 最適な水取引量

(a) ベンサム型 ($e = 0$)

ベンサム型においては、各地域の期待効用に世帯数を乗じたものの和が最大になるように水取引を行う。それを以下のように定式化する。

$$\max_y N_A \{ (1-f(x_A)) u_A^0 + f(x_A) u_A^1 \} \\ + N_B \{ (1-f(x_B)) u_B^0 + f(x_B) u_B^1 \} \quad (7)$$

ここで、 u_j^i は(1)~(3)を解くことによって得られる状態別の効用水準。

(7)式を解くと、以下のような条件式が求まる。

$$N_A f(x_A) \frac{\partial u_A^1}{\partial y} = N_B f(x_B) \frac{\partial u_B^1}{\partial y} \quad (8)$$

(8)式は、地域間での水供給に対する条件式である。すなわち、この条件を満たす渇水時の水取引が社会厚生を最大にする。ベンサム型社会的厚生関数は功利主義的な社会価値規範を表現しているが、個人間配分状況がまったく配慮されていない。これは、条件式において家計数と限界効用が乗じられていることで表されていることからわかる。また生起確率がかかっていることから、両地域の節水量が渇水時の水取引量に影響していることがわかる。

(b) ナッシュ型 ($e = 1$)

ナッシュ型においては、各地域の期待効用の積が最大になるように取引を行う。それを以下のように定式化する。

$$\max_y N_A \{ (1-f(x_A)) u_A^0 + f(x_A) u_A^1 \} \\ \times N_B \{ (1-f(x_B)) u_B^0 + f(x_B) u_B^1 \} \quad (9)$$

(9)式を解くと、以下(10)式のような条件式が求まる。

$$f(x_A) \{ (1-f(x_B)) u_B^0 + f(x_B) u_B^1 \} \frac{\partial u_A^1}{\partial y} \\ = f(x_B) \{ (1-f(x_A)) u_A^0 + f(x_A) u_A^1 \} \frac{\partial u_B^1}{\partial y} \quad (10)$$

(10)式は、地域間での水供給に対する条件式である。すなわち、この条件を満たす渇水時の水取引が社会厚生を最大にする。ナッシュ型社会的厚生関数は平等主義的な社会価値規範を表現している。これは配分条件式において、限界効用が乗じられており家計数が乗じられていないことと、平常時を含んだ期待効用水準によって表されていることからわかる。またベンサム型と同様に両地域の渇水生起確率が入っていることから、節水量が渇水時の水取引量に影響していることがわかる。

(c) ロールズ型 ($e = \infty$)

ロールズ型は最も効用水準の低い社会構成家計の効用が増加したときに限り社会的厚生 W が増加する。それを以下のように定式化する。

$$\max_y \min(V_A, V_B) \quad (11)$$

ロールズ型の解釈として、公正主義的な社会価値規範を表現しているため、条件式が以下(12)式のように求まる。

$$V_A = V_B \quad (12)$$

(12)式は、2地域間での水供給に対する条件式である。両地域の期待効用水準を等しくするように水取引量を行うこととなる。ロールズ型社会的厚生関数はロールズの公正主義的な社会価値規範を表現している。これは、条件式において、限界効用と家計数が乗じられていないこと、期待効用水準によって表されていることにあたることからわかる。そして他の2つの社会的厚生関数と異なることとして、水取引量における限界効用が入っていないことが挙げられるが、これは水取引量が効率性をまったく考慮しておらず、公平性のみに依存していることを示している。

(3) 最適な水取引価格について

前項では社会的厚生関数を用いて2地域間における最適な水取引量を求める条件式となっているが、これは以下のように書き直すことができる。

$$\frac{\partial SW(y, r)}{\partial y} = 0 \quad (13)$$

(13)式より求められた最適水取引量を y^* とする。そして最適水取引量を(13)式に代入し水取引価格で一階微分することによって、最適水取引価格の条件式が以下のように導出できる。

$$\frac{\partial SW(y^*, r)}{\partial r} = 0 \quad (14)$$

(14)式は最適水取引量から求められた、最適水取引価格の条件式となっており、この関係を満たすことが各社会的厚生関数の最適化問題を水供給量と水取引価格の両方について解いた事になる。しかし最適水供給量について求めることが解析的に困難であるため、本研究ではその条件式のみを示すこととする。

5. おわりに

本研究では、渇水リスクを分散する方法として節水と地域間の水取引について検討した。まず家計の行動モデルを定式化し、そこから最適な生活用水需要条件式と、最適な節水量条件式を導出した。次にこの条件式を満たした効用水準を社会的厚生関数に導入し最適な水取引量条件式を導出した。その結果、最適な水取引量条件式において生起確率が入っていることから、自主的な節水によって渇水時の水取引に影響を及ぼすことが明示された。まずベンサム型では、当該地域の生起確率と限界効用と人口が水取引量に反映される。これは条件式に人口と限界効用が入っていることから、効率性を最大化にしていることがわかる。次にナッシュ型では、当該地域の生起確率と他地域の期待効用と限界効用が水取引量に反映される。これは他地域の期待効用が入っていることから公平性について考慮しており、また限界効用が入っていることから効率性についても考慮していることがわかる。最後にロールズ型では、当該地域の期待効用が水取引量に反映される。これは条件式に限界効用や人口が入っていないことから効率性については考慮しておらず公平性についてのみ考慮していることがわかる。今後は数値シミュレーションを行い、ここで示した条件式において、平常時の節水や渇水の規模が水取引量などにどの程度影響が現れるかを分析する。それとともに社会全体の厚生水準や期待効用水準がどうなっているかを分析する必要がある。

参考文献

- 1) 横松宗太・小林潔司:分権的防災投資と地域間リスク配分, 土木計画学研究講演集 No.23(2), pp.149-152, 2000.
- 2) DAVID N. KENNEDY: Water Resources Development and Management in California ~ A Historical Perspective, アメリカ水資源セミナー講演論文集, pp.43~47, 2000.
- 3) 多ヶ納裕一:渇水リスクと水資源計画, 土木計画学研究講演集 No.16(2), pp.211-217, 1993.
- 4) 小林潔司:公平論を巡る最近の理論的展開, 土木計画学ワーカーセミナー シリーズ19 土木計画における公平論を巡って, pp.51-58, 2000.