渇水時の家計の水消費行動と水需給の均衡に関する考察

鳥取大学大学院　学生員○福山　敬　　鳥取大学工学部　正会員　多々納裕一
鳥取大学工学部　正会員　小林潔司　　鳥取大学工学部　正会員　岡田憲夫

1．はじめに　都市活動の高度化とともに渇水の社会経済的な影響はますます深刻化してきている。本研究ではミクロ経済学的観点から家計に着目し、渇水の家計に与える影響について考察する。すなわち、家計iの水消費行動を単位時間の獲得可能水量q^iをパラメータとする効用最大化行動としてとらえ、モデル化を試みる。また、渇水時における水需給をq^iをパラメータとする均衡問題として定式化し、渇水による供給可能量$\bar{S}$の変化にともなう家計の水消費行動の変化について考察し、計算例により本研究で構築したモデルの有効性について考察を行う。

2．家計の水消費行動のモデル化　渇水が生じると、家計iにおいて単位時間に獲得可能な水量q^iが減少する。このため家計が水の獲得に拘束される時間は増大する。一般に水は他の財との代替性が低いから拘束時間の増大は拘束されない時間(余暇時間)の減少をもたらす。家計は本来得たい水量の一部を労力(時間)で補うことによりこの余暇時間の減少をできるだけ小さく抑えようとする。これは1つの水使用目的の枠内での水と時間の代替(要素間代替)という形で現れる。また、水使用目的によって水サービスに対する限界効用の違いが生じるため水の消費量の配分の変更が行われる。これは水消費目的間での代替(用途間代替)という形で表れる。このように家計は渇水に伴う時間資源の希少性に直面し、要素間代替および用途間代替を行い時間資源を再配分すると考えられる。そこで本研究ではこのような家計の渇水時の水消費行動の変化をモデル化するために、家計は水と時間とを投入して生産したサービスを自ら消費し、サービス生産に関する技術制約と時間制約の下で効用の最大化行動を行なっていると考えることとした。従って家計iの水消費行動モデルは表1のように定式化される。またこれは表2のような2段階問題に分割することができる。

表1　家計の水消費行動モデル

$$\underset{z^i_1,\cdots,z^i_n,t^i}{\mathrm{Max}}\ U^i(z^i_1,\cdots,z^i_n,t^i)$$

subject to

$$t^i+\sum_{j=1}^{n}t_u{}^i{}_j+\sum_{j=1}^{n}t_s{}^i{}_j=T^i$$
$$z^i{}_j=f^i{}_j(x^i{}_j,\ t_u{}^i{}_j)$$
$$x^i{}_j=q^i\cdot t_s{}^i{}_j \qquad ,j=1,\cdots,n$$

$U^i(\cdot)$：家計iの効用関数であり準凹
$f^i{}_j(\cdot)$：家計iのサービスjの生産関数で準凹
$x^i{}_j$：家計iのサービスjの生産に用いる水量
$t_s{}^i{}_j$：家計iの水量$x^i{}_j$の取得に要する時間
$t_u{}^i{}_j$：家計iのサービスjを生産するのに要する時間
t^i：家計iの余暇時間
$z^i{}_j$：家計iのサービスjの量
T^i：家計iの総使用可能時間
q^i：家計iの単位時間に獲得可能な水量
n：生産するサービスの数

表2　2段階問題

（Ⅰ）費用最小化問題

$$C_j(q,\ z_j)=\underset{x_j,\ t_{uj}}{\mathrm{Min}}\ x_j/q+t_{uj}$$

subject to $z_j=f_j(x_j,\ t_{uj})$

$$j=1,\cdots,n$$

（Ⅱ）効用最大化問題

$$v(q,\ T)=\underset{z,t}{\mathrm{Max}}\ U(z,t)$$

subject to $\sum_{j=1}^{n}C_j(q,\ z_j)+t=T$

(但しzはベクトル，$z=(z_1,\cdots,z_n)$)

3．供給可能量の変化と水需給の均衡　一方、渇水は供給可能量$\bar{S}$の減少という形で表われる。そこで$\bar{S}$の変化によって家計iの水消費行動を規定するパラメータq^iがどのように変化するかをモデル化する必要が生じる。そこで本研究では供給可能量$\bar{S}$の変化によるq^iの決定過程を水需給均衡の実現過程としてモデル化する。まず水供給側の行動について考える。水の供給行動は集計された水需要量$\sum_{i=1}^{m}x^i(q^i)$(但しmは家計数)が供給可能量$\bar{S}$に達しない限り水需要量と等しい水量を供給し、水需要量が供給可能量を上回ると供給可能水量を供給するとして記述できる。平常時、家計iはある一定の単位時間当りの供給可能量q^{i*}の下で2.で示した効用最大化問題を解いており、このとき地域全体の集計的需要量は$\sum_{i=1}^{m}x^i(q^{i*})$となり供給側はこれにみあう水量を供給している。従って平常時には超過需要$\sum_{i=1}^{m}x^i(q^{i*})-s$（ただしsは水供給量)はゼロで

ありq^{i*}の下で水需給が一致している状態が達成されている。一方、渇水時、q^{i*}の下では超過需要は正となり需給は一時的には一致しない。しかし長期にわたって需要量(使用量)が供給量を上回れば給水システムが停止し社会的に甚大な影響を及ぼすことになる。このためq^{i*}は需給が一致するように調整されることとなる。このような平常時の渇水状態からある$\bar{S}$のもとでの均衡状態への移行のプロセスは図１の様にモデル化することができる。つまり、超過需要の大きさによりｔ期の配水池吐出水圧が調整され、新たな水圧が求まる。家計ｉの獲得可能水量q^{i}は配水管路網等の条件により定まる水圧h_{t+1}の関数$\Psi^{i}(h_{t+1})$の値として決定される。この調整プロセスは超過需要がゼロになるまで継続し、水需給が一致し均衡が達成されるとその時点で安定となる。このようにして渇水時の水需給の均衡が達成されると考えることができる。

<u>4．モデル分析</u>　構築した家計の水消費行動モデルの有効性を検討するため関数型を実際に特定化しパラメータを設定して数値計算を行った。分析に際し、すべての家計は均質で等しいqを受けており、ただ一つのサービスｚを生産消費していると仮定した。また家計生産関数を規模に関して収穫一定のコブ＝ダグラス型、効用関数をＣＥＳ型として表３のように家計の水消費行動モデルを設定した。これを表４のように２段階問題に分割し各需要関数を求めると表５のようになる。また給水システムモデルとしては、$q=\bar{q}$とし、平常時の獲得可能水量q^*を４０ℓ／minとした。この結果の一部を図２に示す。図２より供給可能量$\bar{S}$の減少は余暇時間の減少をもたらし、またサービス生産に投入する時間の増加をもたらすことが示された。これは2．で想定したように、渇水によってもたらされた"余暇時間の減少"という被害を最小限にくい止めるために、水使用量を減らしてサービスｚの生産に振り向ける時間を増加させるという消費行動の変更が生じていることを示している。また水により生産されるサービスと余暇時間との代替弾力性が小さい(パラメータａが大きい)ほど余暇時間の減少が顕著であることがわかる。

<u>5．おわりに</u>　本研究では、家計の水消費行動の分析のための理論的枠組みを提示した。今後は実証的な検討を通して有効性の検討を行っていきたい。

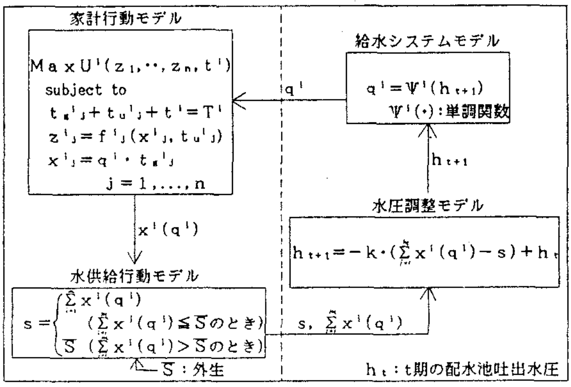

図１　水需給の調整過程

表３　家計の水消費行動モデル(計算ケース)

$$\begin{aligned}&\underset{z,t}{\mathrm{Max}}\ (z^{\rho}+t^{\rho})^{1/\rho} && (\rho\leqq 1)\\ &\text{subject to}\ z=x^{\alpha}\cdot t_u{}^{\beta} && (\alpha+\beta=1\quad \alpha,\beta>0)\\ &x=q\cdot t_s\\ &t_s+t_u+t=T\end{aligned}$$

表４　２段階問題(計算ケース)

$$\begin{aligned}&(\mathrm{I})\quad C(q,\ z)=\underset{x,t_u}{\mathrm{Min}}\ x/q+t_u\\ &\qquad \text{subject to}\quad z=x^{\alpha}\cdot t_u{}^{\beta}\\ &\qquad\qquad (\text{ただし}\ \alpha+\beta=1\quad \alpha,\beta\geqq 0)\\ &(\mathrm{II})\quad v(q,\ T)=\underset{z,t}{\mathrm{Max}}\ (z^{\rho}+t^{\rho})^{1/\rho}\\ &\qquad \text{subject to}\quad C(q,\ z)+t=T\\ &\qquad\qquad (\text{ただし}\ \rho\leqq 1)\end{aligned}$$

表５　間接効用関数及び需要関数の導出

$$\begin{aligned}&v(q,T)=\{(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{-a\beta}+1\}^{-1/a}+T\\ &z(q,T)=(\alpha q)^{\alpha(1-a)}\beta^{\beta(1-a)}\{(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{-a\beta}+1\}^{-1}T\\ &t(q,T)=\{(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{-a\beta}+1\}^{-1}T\\ &x(q,T)=(\alpha q)^{1-a\alpha}\beta^{-a\beta}\{(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{-a\beta}+1\}^{-1}T\\ &t_u(q,T)=(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{1-a\beta}\{(\alpha q)^{-a\alpha}\beta^{-a\beta}+1\}^{-1}T\\ &t_s(q,T)=x(q,T)/q\quad \text{ただし、}a=\rho/(\rho-1)\ ,\ a<1\end{aligned}$$

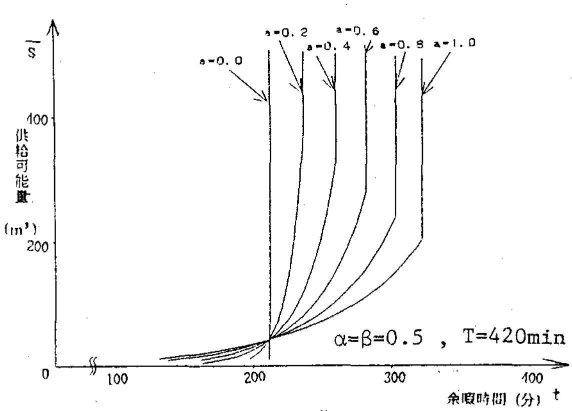

図２　供給可能量と余暇時間の関係