

渇水時の水消費行動のモデル分析

岡田 憲夫・多々納裕一・小林 潔司・並河 光夫

MODEL ANALYSIS OF HOUSEHOLDS' BEHAVIOR IN DROUGHT TIME

By Norio OKADA, Hirokazu TATANO, Kiyoshi KOBAYASHI and Mitsuo NAMIKAWA

Synopsis

This paper presents a households' behavior model in drought time. In drought time, the difficulty of gaining the required amount of water increases and households are forced to reallocate their resources to produce water-dependent in-house services. In this paper, the difficulty induced by drought is expressed in terms of increased time to obtain a unit amount of water. A demand model is proposed to theoretically analyze the demand substitutions between different services as the time to gain water increases in drought time. It is shown that both the preferences for in-house services and the characteristics of households technology to produce in-house services determine the substitution patterns of the services and factor demands for inputs for the in-house services' production.

1. は じ め に

日本は、世界でも有数の多雨地帯であるアジアモンスーン地帯に位置し、年平均降水量は1800 mm程度と、世界平均のおよそ2倍の降雨量がある。しかしながら、これに国土面積を乗じ、全人口で除した人口一人当たりの年降水総量をみると5,500 m³と、世界平均34,000 m³の6分の1程度¹⁾であり、必ずしも水資源に恵まれた国とは言えない。さらに、このように比較的豊富にある降水も、梅雨と秋の台風の時期に集中する傾向が強く、河川も急峻で流況の変動が激しい。従って、利用可能な水資源は河川の自流水を主な取水源とする限りにおいては、かなりの制約を受けることとなる。

しかしながら、我が国では、この貴重な資源を農業用水はもとより、生活用水や工業用水、都市活動用水として有効に活用してきた。変動の大きい流況を安定化させ、利用可能な形態に変換する営みが積み重ねられてきたのである。例えば、我が国では、早くから灌漑用のため池の整備が行われてきたし、今世紀に入ると近代土木技術の導入により大規模なダム貯水池等の開発が行われた。このような先人達の努力の結果、現在のように水資源の有効利用が実現されてきた。今や2200余りのダム貯水池が稼動中であり、その集水面積の合計は国土の74%を占めるに至った²⁾。しかしながら、その結果、開発適地は減少し、ダム貯水池の開発に代表されるようなハードな対応を主力とする水資源開発は困難の度を強めている。従って、現在の水資源開発は、「いかに開発するか」という課題から「いかに保全し、いかに管理するか」という課題に整備の比重を移しつつある。

国土庁のデータによれば¹⁾、1人1日当たりの生活用水の平均使用水量は昭和40年～昭和50年の間、年平均4.7%という顕著な伸びを示したが、昭和50年代にも、年平均1.4%と着実な伸びを示していることがわかった。このように生活用水の使用量が伸びた背景には、洗濯機の普及や水洗便所の普及といった生活様式の変化があったものと推論できる。昭和40年代、50年代を通じてこのような生活様式の変化が

生じ、生活用水の需要を増大させてきた。ここに来て、家庭生活をとりまく状況の変化から、現在また新たな展開が生じつつある。すなわち、「朝シャン」等に代表されるような新たな水需要用途の発生と洗濯機や水洗便所等の分野で顕著に進みつつある節水型の製品の普及等の事例である。これは、とりもなおさず、家計の水使用に対する嗜好の変化と水使用を伴う機器性能向上による家庭内サービス生産の技術革新が進み始めていることを示している。このような新たな生活様式の変化は、家計における水使用形態に少なからず影響を及ぼすことになる。すなわち、生活様式の変化は、1) 新たな水使用用途に対する水の需要を発生させるとともに、2) 既存の水使用用途に対しても水使用の効率の向上を促し、家計の水需要原単位や水使用量の用途間の比率を変化させると考えられる。したがって、このような生活様式の変化を明示的に考慮していくことは、水需要予測等の場面において今後不可欠な課題となっていくであろう。

生活水準の向上・経済社会の高度化に伴い、国民生活や経済社会活動において水に対する依存度は高い水準に達しており、ひとたび渇水が生じると、それが社会に与える影響は甚大なものとなると考えられる。このような観点から、渇水に対する利水システムの安全性評価や渇水時の対応の重要性が認識され、各種の調査・研究がなされてきている。しかしながら、そのほとんどは、渇水時の貯水池の運用等に焦点を当てた研究となっており、社会経済的な側面からのアプローチはあまり多くない。ただ、渇水による損失関数をいかに設定するかというモデル構築上の要請から、渇水被害の社会・経済的評価に関する研究もいくつか行われてきている。例えば、渇水時の家計の厚生変化の定量化を試みた研究として以下のような研究がなされてきている。すなわち、(臨時出費額+家事労働単価×家事労働時間増加量)により渇水時に家計が被る被害の計測を試みた研究³⁾や住宅価格との関連で渇水の潜在的不安の計量化を試みた森杉らの研究⁴⁾、また、直接聞き取り法による W.T.P (willingness to pay) 値の推定⁵⁾といった研究が挙げられる。ここで、(臨時出費額+家事労働単価×家事労働時間増加量)により、家計の渇水被害を表わす方法は、渇水の経済調査に一般的に用いられる方法である。この際、被害額は渇水時のアンケート調査をもとに積み上げ推計される。過去の渇水事例での分析結果から、給水制限率と渇水による被害との関係も推計されている。しかし、このモデルは給水制限率と渇水被害との関係をブラック・ボックス的に推定したにとどまり、明示的な因果関係を説明するには至っていない。また、直接聞き取り法による W.T.P 値の推定は、渇水時の家事労働増加量や臨時出費額といった渇水時の家計の水消費行動の結果とは無関係に、渇水を回避するために支払っても良いと考える額を直接聞き取り調査する方法である。この方法では、平常時の水の価格水準が低く抑えられているため、前述の直接被害額に比べて極端に小さな値をとりやすいという欠点を有している。森杉らは、渇水が起こるかも知れないという不安を計量化しようとした。この際、渇水が生じるリスクと住宅価格との関連を「住宅 a は 1000 万円で渇水が 5 年に 1 度起こるかも知れないが、渇水が起こらない住宅なら、いくら高くても買うか」といった設問を行い解析した。しかし、森杉等の研究においても、渇水時の家計の水消費行動は明示的には考慮されず、渇水時における給水制限等のソフトな水管理の方法を検討するには適していない。以上示してきたように、これらの研究で用いられてきたモデルは、渇水発生にともなう水消費行動の変化を明示的に説明し得るモデルとはなっておらず、給水制限率や渇水頻度といった渇水の状況を表わすマクロ変数と渇水被害との関係をブラック・ボックス的に記述するにとどまっている。

貯水池の整備やその最適運用を検討する際には、貯水池からの放流量や取水制限率と渇水による被害との関係を明らかにしておくことは不可欠である。しかしながら、実際には、給水制限率は等しくとも、減圧給水、時間給水等に代表されるような水需要抑制策が異なれば、渇水による被害状況も異なってくるものと考えられる。したがって、水資源システムの整備を考えていく上でも、渇水時に行われる水需要抑制策と渇水時の家計の水消費行動のパターンの変化を基礎として、渇水被害の推計を行っていくことが必要である。ところが、これらのモデルでは、家計の水消費行動パターンの変化を説明し得るモデルとなっていないため、渇水時に行われるこれらの水需要抑制策の効果を分析することは難しい。

一方、渇水時の家計の水消費行動パターンの変化は、家計の嗜好や家庭内サービスの生産技術のあり様

と大きく関わっている。昭和40年代、50年代を通じて洗濯機や水洗便所の普及が水消費行動パターンを大きく変化させてきた。そして、このような生活様式の変化が渇水時の被害構造にも大きな影響を与えてきた。現在、進みつつある生活様式の変化は、新たな水需要の発生と既存の用途における水使用の効率化を促しており、水消費行動パターンに一層の変化を生じつつある。したがって、このような生活様式の変化に対応した有効な渇水時の水資源の管理方法を検討していくことは今後ますます必要となってくるであろう。すなわち、家計の水消費をとりまく技術のあり様や家計の嗜好を反映した家計の渇水時の水消費行動の理論的な分析が必要となってきた。

そこで、著者らは、生活様式の変化に対応した有効な渇水時の水資源の管理方法を検討するためミクロ経済学的観点から渇水時の家計の水消費行動のモデル化を試みてきた⁶⁾。その際、同時に、供給サイドの水需要抑制策として減圧給水を明示的にモデルに組み込んでいる。これは、家計の水消費行動をベースに渇水発生に伴い家計が被る被害の計測を意図したものであったが、分析の枠組みを提示するにとどまり、渇水時の水消費行動に関して十分な分析を行うに至っていない。本稿では、現在までに提案してきた減圧給水時の家計の水消費行動モデルをベースに家計の選好構造や家庭内サービス生産技術と渇水時の水消費行動パターンの変化に関して理論的な知見を加える。具体的には、減圧給水時の家計の水消費行動に着目し、水利用に関わる技術や家計の嗜好を反映する指標を提案する。次いで、比較静学分析を通じて、これらの指標が減圧給水時の家計の水消費行動パターンを規定することを解析的に明らかにする。そして、数値実験を通じて、これらの指標と水消費パターンの関連関係を例示する。

2. 渇水時の家計の水消費行動のモデル化

2.1 渇水時の家計の水消費行動

渇水が発生し、減圧給水が行われると、各家庭では平常時より低い給水圧で水が供給される。家計は同量の水を確保するために、平常時と比較してより多くの時間を投入せざるを得なくなる。家計が利用可能な時間資源には限りがあるから、家計は平常時とは異なった水消費行動パターンをとることとなる。従って、渇水時に水資源管理上必要となる水需要のコントロールは価格メカニズムを通じて行われるのではない。むしろ、給水圧の低下による水の獲得時間の増加等によって家計の水消費量を間接的に制限するという方法によってコントロールを行っていると解釈できる。本研究では、このような減圧給水下における家計の水消費行動をミクロ経済学的な観点から分析することとする。

家計は飲料のように水そのものを利用する場合もあるが、多くの場合、洗濯、炊事、洗車といった家庭内サービスの投入要素として水を消費する。このような用途毎の水利用は単に水そのものの消費ではなく、「水」、「個人の時間」、「市場財」を投入して生産された家庭内サービスを消費するために間接的に消費されている。すなわち、各個人は、水、時間、財貨といった希少資源を投入して家庭内サービスを生産するとともに、そのサービスを自ら消費していると考えることができる。給水圧の低下は、単位水量当たりの獲得所要時間の増大を通じて、家計の水消費行動に多様な影響を及ぼす。このような影響は、1) 用途毎の家庭内サービスの生産＝消費量の変化、2) 家庭内サービスと市場サービスとの間で消費代替、3) 家庭内サービスの生産における水使用量の節約といった行動として現れる。具体的にいえば、1) に該当する行動として、例えば渇水時に散水、洗車等のように我慢が可能なサービスの消費量が減少することが挙げられよう。2) の例としては、クリーニング等が挙げられる。3) としては、洗濯、風呂のようにサービス生産において水の消費量が節約される例が挙げられる。このように減圧給水下では、家計の水利用行動は多様に変化するが、その行動は、1) 用途毎の家庭内サービスに対する家計の選好構造、2) 個々の用途別家庭内サービスの生産技術によって規定されている。

議論を要約しよう。家計の水消費行動は、時間、水、市場財を投入要素とするサービスの自己生産・自

己消費を通じた効用最大化行動と考えることができる。すなわち、家計は水、時間、市場財という生産要素を効率的に組み合わせて家庭内サービスを生産すると同時に、時間制約、所得制約といった利用可能な資源の制約のもとで、自らの効用を最大化するように用途別家庭内サービスの消費量を決定している。減圧給水により単位水量当たりの獲得所要時間が増加すれば、家計は個々の用途別の家庭内サービス生産における生産要素の組み合わせを変化させ、さらに、時間制約、所得制約のもとで用途別の家庭内サービス生産の消費量を変化させることとなる。そして、このような渇水時の家計の水消費行動パターンの変化は、用途毎の家庭内サービスに対する家計の選好構造や用途別家庭内サービスの生産技術によって規定されることとなる。

2.2 家計の水消費行動モデルの定式化

上述の議論をもとに家計の水消費行動をモデル化しよう。家計は、水・時間・市場財を投入要素として各水利用用途毎にサービスを生産する。サービス i の生産水準を z_i とし、この生産に投入される水・時間・市場財の量をそれぞれ、 x_i , t_i , g_i としよう。ここで、水の再利用等、同一の生産要素が複数のサービスの生産に供せられることはない（結合生産は行われない）と仮定する。この時、家計のサービス i ($i = 1, \dots, n$) に関する生産技術は、家計生産関数 $f_i(\cdot)$ を用いて次式のように表現することができる。

$$z_i = f_i(x_i, t_i, g_i) \quad (i=1, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、家計生産関数 $f_i(\cdot)$ は、連続微分可能な準凹関数であり、かつ、規模に関して収獲一定を仮定する。

また、家計の直面する時間制約は、労働時間を T_w 、総利用可能時間を T 、余暇時間を l 、単位水量当りの獲得所要時間を τ として次式のように表わされる。

$$\sum_{i=1}^n \tau x_i + \sum_{i=1}^n t_i + l = T - T_w \quad \dots\dots\dots (2)$$

同様に、水の価格を p 、サービス i の生産に投入される市場財の価格を q_i 、賃金率を w 、固定所得を y 、合成財を Z とすると、所得制約は以下のように表わされる。ここで、合成財 Z はニューメレールと考える。

$$\sum_{i=1}^n p x_i + \sum_{i=1}^n q_i g_i + Z = y + w T_w \quad \dots\dots\dots (3)$$

家計は式(1)～式(3)の制約の下で自己の効用 $u(z, l, Z)$ の最大化を試みる。ただし、効用関数 $u(\cdot)$ は、連続微分可能な準凹関数であり、 z はサービス消費量を表わす n 次元ベクトルである。ここで、full income-full cost 仮説を適用する。すなわち、一定の賃金率 w のもとで労働時間と所得は代替可能であるとする。この時、式(2)、式(3)を次式のような単一の制約式で表わすことが可能となる。

$$\sum_{i=1}^n (p + \tau w) x_i + \sum_{i=1}^n w t_i + \sum_{i=1}^n q_i g_i + w l + Z = Y \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $Y \equiv y + w T$ (full income) である。また、 $p + \tau w$ は、水1単位当りの価格 p とその取引費用 τw の和として定義される。以下、 $p + \tau w$ を「水の一般化価格」、 $(p + \tau w) x_i$ を「水量確保のための一般化費用」と呼ぶことにする。

以上をとりまとめると家計の水消費行動はサービス生産に関する技術制約(1)と総所得(full income)制約(4)の下で自己の効用を最大化する行動として、次式のように定式化される。

$$v(p, \tau, w, q, Y) = \max_{x, t, g, l, Z} \{u(z, l, Z)\}$$

$$\text{subject to} \quad z_i = f_i(x_i, t_i, g_i) \quad (i=1, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n (p + \tau w) x_i + \sum_{i=1}^n w t_i + \sum_{i=1}^n q_i g_i + w l + Z = Y \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $v(p, \tau, w, q, Y)$ は間接効用関数であり、効用最大化問題 (5) のパラメータ (p, τ, w, q, Y) が与えられたときの効用の最大値を示している。ここで、費用関数を導入する。費用関数 $c_i(p, \tau, w, q_i, z_i)$ はサービス i の生産水準 z_i を所与とした場合に z_i の生産に要する費用の最小値を与える関数である。従って、本問題は以下のような 2 段階の最適化問題に書き直すことができる⁸⁾。

(1) 費用最小化問題

$$\begin{aligned} c_i(p, \tau, w, q_i, z_i) &= \min_{x_i, t_i, g_i} \{(p + \tau w)x_i + wt_i + q_i g_i\} \\ \text{subject to } z_i &= f_i(x_i, t_i, g_i) \quad (i=1, \dots, n) \end{aligned} \quad (6)$$

(2) 効用最大化問題

$$\begin{aligned} v(p, \tau, w, q, Y) &= \max_{z, l, Z} \{u(z, l, Z)\} \\ \text{subject to } \sum_{i=1}^n c_i(p, \tau, w, q_i, z_i) + wl + Z &= Y \end{aligned} \quad (7)$$

各サービスの生産技術は規模に関して収穫一定であると仮定しているから、 $c_i(p, \tau, w, q_i, z_i)$ は z_i に関して 1 次同次関数となる。したがって、次の関係式が成り立つ⁹⁾。

$$c_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \pi_i(p, \tau, w, q_i) z_i \quad (8)$$

ここで、 $\pi_i(p, \tau, w, q_i)$ はサービス i の 1 単位当りの生産費用を表わしており、commodity price と呼ばれる。

式(8)より、問題 (6) および問題 (7) は以下のように変形される。この 2 段階問題を解くことにより、各々の財及びサービスの需要関数を算定できる。

(1) 費用最小化問題

$$\begin{aligned} \pi(p, \tau, w, q_i) z_i &= \min_{x_i, t_i, g_i} \{(p + \tau w)x_i + wt_i + q_i g_i\} \\ \text{subject to } z_i &= f_i(x_i, t_i, g_i) \end{aligned} \quad (9)$$

(2) 効用最大化問題

$$\begin{aligned} v(p, \tau, w, q, Y) &= \max_{z, l, Z} \{u(z, l, Z)\} \\ \text{subject to } \sum_{i=1}^n \pi_i(p, \tau, w, q_i) z_i + wl + Z &= Y \end{aligned} \quad (10)$$

まず、問題 (9) からサービス i を z_i 単位生産する際の最小費用 $\pi_i(p, \tau, w, q_i) z_i$ を求める。シェパードのレンマ⁹⁾により、サービス i の生産要素として投入される財（水・時間・市場財）の条件付き要素需要関数は以下のように (p, τ, w, q_i, z_i) の関数として導出される。

$$x_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial (p + \tau w)} z_i \quad (11)$$

$$t_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial w} z_i \quad (12)$$

$$g_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial q_i} z_i \quad (13)$$

次に、問題 (10) より、サービス i 、余暇時間、合成財の需要関数を求める。ここで、commodity price ベクトルを π とすると、問題 (10) から間接効用関数は (π, w, Y) の関数 $v(\pi, w, Y)$ として求まる。

ロウの定理⁹⁾より、サービス i 、余暇時間、合成財の需要関数は、それぞれ次のように求まる。

$$z_i(\pi, w, Y) = - \frac{\partial v(\pi, w, Y) / \partial \pi_i}{\partial v(\pi, w, Y) / \partial Y} \quad (i=1, \dots, n) \quad (14)$$

$$\hat{l}(\pi, w, Y) = -\frac{\partial v(\pi, w, Y)/\partial w}{\partial v(\pi, w, Y)/\partial Y} \dots\dots\dots (15)$$

$$\hat{Z}(\pi, w, Y) = Y - \sum_{i=1}^n \pi_i z_i(\pi, w, Y) - l(\pi, w, Y) \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 π_i は式(9)により求められるから、各々の需要関数は、以下のように (p, τ, w, q, Y) の関数として表現できる。ただし、 $q \equiv (q_1, \dots, q_n)$ である。

$$\begin{aligned} z_i(\pi, w, Y) &= z_i(\pi_1(p, \tau, w, q_1), \dots, \pi_n(p, \tau, w, q_n), w, Y) \\ &= z_i(p, \tau, w, q, Y) \quad (i=1, \dots, n) \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

$$\hat{l}(\pi, w, Y) = l(p, \tau, w, q, Y) \dots\dots\dots (18)$$

$$\hat{Z}(\pi, w, Y) = Z(p, \tau, w, q, Y) \dots\dots\dots (19)$$

式(14)をそれぞれ式(11)～(14)に代入することにより、最終的にサービス*i*の生産要素として投入される財（水・時間・市場財）の要素需要関数が以下のように (p, τ, w, q, Y) の関数として求まる。

$$x_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial (p + \tau w)} z_i(p, \tau, w, q, Y) \dots\dots\dots (20)$$

$$t_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial w} z_i(p, \tau, w, q, Y) \dots\dots\dots (21)$$

$$g_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\partial \pi_i(p, \tau, w, q_i)}{\partial q_i} z_i(p, \tau, w, q, Y) \dots\dots\dots (22)$$

ここで、特に強調すべきことは、平常時から渇水時へ移行した際に変化するパラメータは、単位水量当りの獲得所要時間 τ のみであり、他のパラメータ (p, w, q, Y) は短期的には変化しないことである。すなわち、家計は単位水量当りの獲得所要時間 τ の増加によって渇水の発生を知り、単位水量当りの獲得所要時間 τ の値に応じて自己の持つ資源の再配分を行うことを仮定しているのである。

3. 減圧給水下の家計の水消費行動に関する比較静学分析

本章では、給水制限下における単位水量当りの獲得所要時間（ τ ）の増加が家計の水消費行動に与える影響について考察する。具体的には、 τ の変化が家計のサービス・余暇時間・その他の合成財、そしてサービス生産に投入される各要素の需要にいかなる影響を与えるのかを各種弾力性指標と関連づけて考察する。

3.1 余暇時間及び合成財への支出の影響

単位水量当たりの獲得所要時間 τ が増加すると、一般的には家事労働時間の増大や臨時出費の増加が発生する。このことは、平常時は余暇として過ごしていた時間の一部を水量確保のために割り当てたり、水サービスに関係のない財（ここでは合成財）の購入を差し控えて、水量確保のための財、例えばポリバケツ等、のために出費がなされることを意味している。

このことを説明するために、いま、 S_k と s_1^k を以下のように定義する。

$$S_k \equiv \frac{\pi_k z_k}{Y} \dots\dots\dots (23)$$

$$s_1^k \equiv \frac{(p+\tau w)x_k}{\pi_k z_k} \dots\dots\dots (24)$$

ここで、 S_k はサービス k に投入される full cost $\pi_k z_k$ の full income Y に対するシェアであり、 s_1^k は水量確保のための一般化費用 $(p+\tau w)x_k$ の $\pi_k z_k$ に対するシェアである。

また、水の一般化価格 $(p+\tau w)$ に対する S_k の弾力性 η_1^k を以下のように定義する。

$$\eta_1^k \equiv \frac{\partial S_k}{\partial (p+\tau w)} \frac{p+\tau w}{S_k} \dots\dots\dots (25)$$

さらに、サービス k の自己価格弾力性 ρ_{kk} と交叉価格弾力性 ρ_{ik} を以下のように定義する。

$$\rho_{kk} \equiv -\frac{\partial z_k}{\partial \pi_k} \frac{\pi_k}{z_k} \dots\dots\dots (26)$$

$$\rho_{ik} \equiv -\frac{\partial z_k}{\partial \pi_i} \frac{\pi_i}{z_k} \quad (i \neq k) \dots\dots\dots (27)$$

この時、 η_1^k は次式のように変形できる。

$$\eta_1^k = s_1^k (1 - \rho_{kk}) + \sum_{i \neq k} s_{1i}^i \rho_{ik} \dots\dots\dots (28)$$

渇水時における家事労働時間の増加や臨時出費の増加等は、本モデルにおいては余暇時間の減少や合成財への支出の減少として表わされる。言い換えれば、これは減圧給水による単位水量当たりの獲得所用時間 τ の増加に対してサービスに配分される full cost の和 $\sum_k \pi_k z_k$ が増加することを意味している。すなわち、次式が成り立つ。

$$\frac{\partial (\sum_{k=1}^n \pi_k z_k)}{\partial (p+\tau w)} > 0 \dots\dots\dots (29)$$

ここで、式(23) 及び式(25) より、 $\eta_1^k > 0$ のとき、 $p+\tau w$ の増加に対して $\pi_k z_k$ は増加する。一方、 $\eta_1^k < 0$ のときは、 $p+\tau w$ の増加に対して $\pi_k z_k$ は減少する。すなわち、

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_k z_k}{\partial (p+\tau w)} \geq 0 & \text{if } \eta_1^k > 0 \\ \frac{\partial \pi_k z_k}{\partial (p+\tau w)} < 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (30)$$

が成立する。ゆえに、式(29) は次式と同値となることが示される。

$$\sum_{k=1}^n S_k \eta_1^k > 0 \dots\dots\dots (31)$$

従って、 $\sum_k S_k \eta_1^k > 0$ のとき、 $p+\tau w$ の増加に対してサービス生産に配分される full cost の和 $\sum_k \pi_k z_k$ は増加し、余暇時間または合成財への配分 $wl+Z$ が減少する ($\partial(wl+Z)/\partial(p+\tau w) < 0$) こととなる。

3.2 要素需要(水・時間・市場財)への影響

水の一般化価格 $(p+\tau w)$ に対する水・時間・市場財の要素需要の弾力性をそれぞれ σ_{11}^k , σ_{12}^k , σ_{13}^k とおく。これらはそれぞれ以下のように定義できる。

$$\sigma_{11}^k \equiv -\frac{\partial x_k(p, \tau, w, q, Y)}{\partial (p+\tau w)} \frac{(p+\tau w)}{x_k(p, \tau, w, q, Y)} \dots\dots\dots (32)$$

$$\sigma_{12}^k \equiv \frac{\partial t_k(p, \tau, w, q, Y)}{\partial(p+\tau w)} \frac{(p+\tau w)}{t_k(p, \tau, w, q, Y)} \dots\dots\dots (33)$$

$$\sigma_{13}^k \equiv \frac{\partial g_k(p, \tau, w, q, Y)}{\partial(p+\tau w)} \frac{(p+\tau w)}{g_k(p, \tau, w, q, Y)} \dots\dots\dots (34)$$

同様に、水の一般化価格 $(p+\tau w)$ に対する水・時間・市場財の条件付き要素需要の弾力性を e_{11}^k , e_{12}^k , e_{13}^k とおくと、これらは以下のように定義される。

$$e_{11}^k \equiv -\frac{\partial x_k(p, \tau, w, q_k, z_k)}{\partial(p+\tau w)} \frac{p+\tau w}{x_k(p, \tau, w, q_k, z_k)} \dots\dots\dots (35)$$

$$e_{12}^k \equiv \frac{\partial \hat{t}_k(p, \tau, w, q_k, z_k)}{\partial(p+\tau w)} \frac{p+\tau w}{\hat{t}_k(p, \tau, w, q_k, z_k)} \dots\dots\dots (36)$$

$$e_{13}^k \equiv \frac{\partial \hat{g}_k(p, \tau, w, q_k, z_k)}{\partial(p+\tau w)} \frac{p+\tau w}{\hat{g}_k(p, \tau, w, q_k, z_k)} \dots\dots\dots (37)$$

式(32)～式(37) から、以下の結果を得る。

$$\sigma_{11}^k = e_{11}^k + s_1^k \rho_{kk} - \sum_{i \neq k} s_i^k \rho_{ik} \dots\dots\dots (38)$$

$$\sigma_{1j}^k = e_{1j}^k - s_1^k \rho_{jk} + \sum_{i \neq k} s_i^k \rho_{ik} \quad (j=2, 3) \dots\dots\dots (39)$$

ここで、水の一般化価格 $p+\tau w$ に対する水需要の弾力性 σ_{11}^k は、水量確保のための一般化費用 $(p+\tau w)x_k$ と以下のような関係がある。

$$\begin{cases} \frac{\partial(p+\tau w)x_k}{\partial(p+\tau w)} \geq 0 & \text{if } \sigma_{11}^k \leq 1 \\ \frac{\partial(p+\tau w)x_k}{\partial(p+\tau w)} < 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (40)$$

また、 σ_{1j}^k は水の一般化価格 $(p+\tau w)$ の増加に対して水以外の投入要素である時間・市場財の需要の増減の方向を表わす指標となっている。

$$\begin{cases} \frac{\partial w t_k}{\partial(p+\tau w)} \geq 0 & \text{if } \sigma_{12}^k \geq 0 \\ \frac{\partial w t_k}{\partial(p+\tau w)} < 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (41)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial q_k g_k}{\partial(p+\tau w)} \geq 0 & \text{if } \sigma_{13}^k \geq 0 \\ \frac{\partial q_k g_k}{\partial(p+\tau w)} < 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (42)$$

すなわち、水の一般化価格 $(p+\tau w)$ の増加に対する水以外の投入要素 $j(=2(\text{時間}), 3(\text{市場財}))$ の需要は $\sigma_{1j}^k > 0$ のとき増大し、 $\sigma_{1j}^k < 0$ のとき減少する。

さらに、水以外の投入要素に配分される一般化費用の和 $(w_k t_k + q_k g_k)$ の水の一般化価格 $(p+\tau w)$ の増加に対する増減は $\sum_{j \neq 1} s_j^k \sigma_{1j}^k$ の値によって規定される。

$$\begin{cases} \frac{\partial(w t_k + q_k g_k)}{\partial(p+\tau w)} \geq 0 & \text{if } \sum_{j \neq 1} s_j^k \sigma_{1j}^k \geq 0 \\ \frac{\partial(w t_k + q_k g_k)}{\partial(p+\tau w)} < 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (43)$$

すなわち、 $(w_k t_k + q_k g_k)$ は、水の一般化価格 $(p + \tau w)$ の増加に対して、 $\sum_{j \neq 1} s_j^i \sigma_{ij}^k$ の値が正のとき増加し、負のとき減少する。

また、 σ_{11}^k と $\sum_{j \neq 1} s_j^i \sigma_{ij}^k$ を $(\rho_{kk}, \rho_{ik}, s_1^i, e_{11}^k)$ で表わすと以下ようになる。

$$\sigma_{11}^k = e_{11}^k + s_1^i \rho_{kk} - \sum_{i \neq k} s_i^k \rho_{ik} \quad (44)$$

$$\sum_{j \neq 1} s_j^k \sigma_{ij}^k = s_1^k e_{11}^k - s_1^k (1 - s_1^k) \rho_{kk} + (1 - s_1^k) \sum_{i \neq k} s_i^k \rho_{ik} \quad (45)$$

式(44)、及び式(45) から、単位水量当たりの獲得所用時間 τ の変化にともなう水の一般化価格の変化が、水量獲得コストの増減に与える影響や時間・市場財の要素需要の増減にもたらす影響は、家計のサービス生産技術に関する特性 e_{11}^k とサービスに関する嗜好を反映した弾力性指標 (ρ_{kk}, ρ_{ik}) によって規定されることがわかる。したがって Fig. 1. に示すように、これらの弾力性指標値によって、渇水時に生じる水利用パターンの変化を記述することが可能である。

さて、Fig. 1. の各領域に対応するサービスとしてはどのようなものがあるのだろうか。全てのサービスを網羅することはできないが、ここでは、本図を解釈するためにいくつかの典型的な場合を例示して考察することにする。

まず、渇水時に「洗濯機の使用を止め、手もみ洗いを行う」という行動を取り上げよう。この場合の特

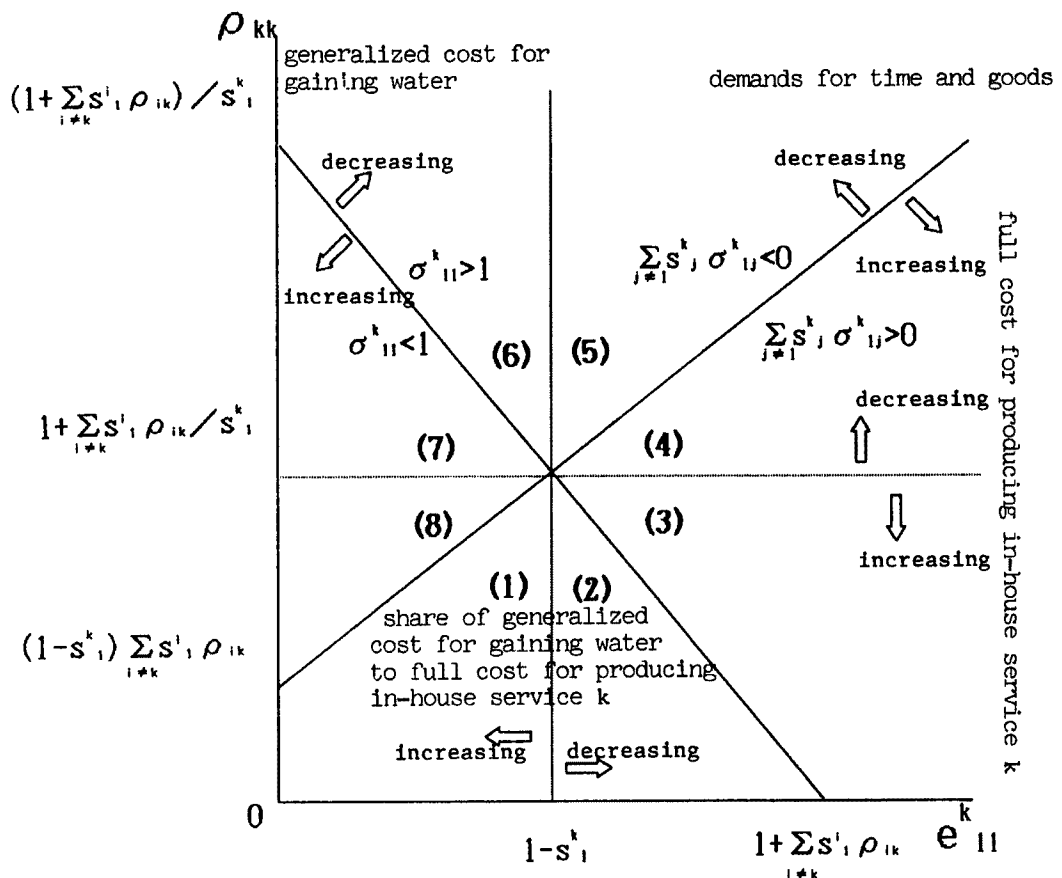


Fig. 1. Water consumption patterns of in-house services characterized by e_{11}^k and ρ_{ik} .

色を列挙すると以下のようである。

- (1) 洗濯機の使用を停止して手もみ洗いに切り替えることは、洗濯に必要な水量を削減する代わりに労働時間の増大を招く（技術的代替が可能）。
- (2) 洗濯というサービスの生産に投入される時間・財貨は、確実に増大している（サービス生産に投入される full cost の増加）。
- (3) 洗濯には比較的多くの水量が必要であり水量確保に必要な時間は増加する（水量確保のための一般化費用の増大）。

従って、使用水量の節減による水量獲得所用時間の減少の効果が手洗いに切り替えることによる労働時間増加の効果を上回る場合は「洗濯機の使用を止め、手もみ洗いをを行う」という行動は領域（1）に属すと考えることができる。一方、使用水量の節減による水量獲得所用時間の減少の効果が手洗いに切り替えることによる労働時間増加の効果を下回る場合には領域（2）に属すると推論される。

次に、喝水時に紙コップや紙皿等を用いて食器洗いに用いる水の節約を図る行動等を考える。この場合は、

- (1) 食器洗いに必要な水量を削減する代わりに紙コップや紙皿などの臨時的な出費を招く（技術的代替が可能）。
- (2) 紙コップや紙皿を用いることでほとんど水が必要なくなり、水量確保に必要な時間は減少する（水量確保のための一般化費用の減少）。

といった水消費の特徴がある。この場合には、食器洗いに必要な水量や時間が減少する代わりに紙コップや紙皿などの臨時的な出費が行われる。従って、このようなサービスは臨時出費の増大が時間の節約効果より大きい場合は領域（3）に、臨時出費の増大が時間の節約効果より小さい場合には、領域（4）に属すると考えられる。

また、その他、代表的な水利用の用途としては炊事、風呂、水洗トイレ、散水等が挙げられるが、同様な議論から、風呂は領域（7）或いは領域（8）に、水洗トイレは領域（1）に、散水は領域（3）或は（4）に属するものと解釈される。以上の結果を整理して、Table 1. に示す。しかし、これはあくまで一般的な解釈論であって、このようなサービスの類型化を厳密に行うためには各種弾力性指標の値を実証分析を通じて推計することが必要である。

Table 1. Water consumption patterns of in-house services and their examples illustrated

	$\pi_k z_k$	s_k^1	$(p + \tau w)x_k$	t_k, g_k	example
(1)	increasing	increasing	increasing	increasing	flushing in a toilet, washing
(2)	increasing	decreasing	increasing	increasing	
(3)	increasing	decreasing	decreasing	increasing	cooking
(4)	decreasing	decreasing	decreasing	increasing	
(5)	decreasing	decreasing	decreasing	decreasing	sprinkling with water
(6)	decreasing	increasing	decreasing	decreasing	
(7)	decreasing	increasing	increasing	decreasing	taking a bath
(8)	increasing	increasing	increasing	decreasing	

4. モデル分析

4.1 モデルの特定化

本章では、モデルを特定化し、渇水時の家計の水消費行動を例示しよう。前章で考察したように、渇水時の水消費行動をモデル化するためには、各サービス価格 i の自己価格に対するサービス需要の弾力性が各々のサービスによって異なるような間接効用関数を設定する必要がある。

そこで、本研究では間接効用関数の特定化に当たって、サービス価格の自己価格弾力性 ρ_{ii} を各サービス毎に任意に設定可能なトランス・ログ型の逆数間接効用関数を採用する。トランス・ログ型逆数間接効用関数⁹⁾は、次式のように与えられる。

$$\ln h(\phi) = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln \phi_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln \phi_i \ln \phi_j \quad \dots\dots\dots (46)$$

ここで、 $h(\phi)$ 及び ϕ は以下のように定義される。

$$h(\phi) \equiv \frac{1}{v(\phi)}, \quad \phi \equiv (\pi_1/Y, \pi_2/Y, \dots, \pi_n/Y, w/Y, 1/Y)$$

ここに、 $v(\phi)$ は間接効用関数である。また、任意の i, j に対して、 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ であり、 $\sum_i \sum_j \beta_{ij} = 0$ を仮定する。

また、サービスの生産技術について着目すると、時間（労働）を多く投入することによって水量の減少を補うことのできるサービスがある一方で、水量の減少を時間で補うことが難しいサービスもある。このように家計の直面する技術は、投入要素間の技術的代替性が各々のサービス毎に異なっている。

従って、サービスの生産技術の特定化にあたっては、各々のサービス毎に異なる要素間の代替性の違いを表現できることが望ましい。そこで本研究では家計生産関数として CES 型⁹⁾を採用する。CES 型生産関数は、各々のサービス毎に異なる投入要素の代替性の違いを代替の弾力性により表現できる。CES 型の家計生産関数を次式で表わす。

$$f_i(x_i, t_i, g_i) = (c_1 x_i^{a_i} + c_2 t_i^{a_i} + c_3 g_i^{a_i})^{(1/a_i)} \quad \dots\dots\dots (47)$$

ただし、代替の弾力性は $\varepsilon_i (= 1/(a_i - 1))$ で表される。また、サービス生産技術 f_i は、 a_i が $-\infty$ の時はレオンテフ型技術、0 の時は極値としてコブ・ダグラス型技術、1 ならば線形技術に対応する。

さて、以上のように関数を特定化した場合の需要関数を具体的に求めてみよう。まず、費用最小化問題を定式化しよう。

$$\begin{aligned} \pi_i(p, \tau, w, q_i) z_i &= \min_{x_i, t_i, g_i} (p + \tau w) x_i + w t_i + n g_i \\ \text{subject to} \quad z_i &= (c_1 x_i^{a_i} + c_2 t_i^{a_i} + c_3 g_i^{a_i})^{1/a_i} \quad (a_i < 1) \quad \dots\dots\dots (48) \end{aligned}$$

したがって、最適化条件の 1 階の条件は以下のように求まる。

$$\frac{x_i^{a_i-1}}{(p + \tau w)/c_1} = \frac{t_i^{a_i-1}}{w/c_2} = \frac{g_i^{a_i-1}}{q_i/c_3} \quad \dots\dots\dots (49)$$

$$z_i = (c_1 x_i^{a_i} + c_2 t_i^{a_i} + c_3 g_i^{a_i})^{1/a_i} \quad \dots\dots\dots (50)$$

1 階条件（式(49)、式(50)）を用いてサービス i の費用関数 π_{zi} を求めると、次式のようなのである。

$$\pi_i(p, \tau, w, q, q_i) z_i = \left\{ \left(\frac{p + \tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{1/\gamma_i} z_i \quad \dots\dots\dots (51)$$

ただし、 $\gamma_i = a_i/(a_i - 1)$ とおいた。式(51) から、次式を得る。

$$\pi_i(p, \tau, w, q_i) = \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{1/\gamma_i} \dots\dots\dots (52)$$

式(52) と式(11)～式(13) から、条件付き要素需要関数は以下のように求まる。

$$\hat{x}_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{1}{c_1} \left\{ \frac{p+\tau w}{c_1} \right\}^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} z_i \dots\dots\dots (53)$$

$$\hat{t}_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{1}{c_2} \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} z_i \dots\dots\dots (54)$$

$$\hat{g}_i(p, \tau, w, q_i, z_i) = \frac{1}{c_3} \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} z_i \dots\dots\dots (55)$$

ここで、間接効用関数をトランス・ログ型関数で表現した場合、ロウの定理⁹⁾からサービス z_i 、余暇時間 l 、その他の合成財 Z の需要関数は、以下のように求まる。ただし、 $i=1, \dots, n$ である。

$$z_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\phi_i^{-1} \left(\alpha_i + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{ij} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (56)$$

$$l(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\phi_{n+1}^{-1} \left(\alpha_{n+1} + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{n+1,j} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (57)$$

$$Z(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\phi_{n+2}^{-1} \left(\alpha_{n+2} + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{n+2,j} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (58)$$

以上、式(20)～式(22)、及び、式(53)～式(55)、式(56) からサービス i の要素需要関数（水量・時間・市場財）を求めると、以下のようである。

$$x_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\frac{1}{c_1} \left\{ \frac{p+\tau w}{c_1} \right\}^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} \phi_i^{-1} \left(\alpha_i + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{ij} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (59)$$

$$t_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\frac{1}{c_2} \left\{ \frac{w}{c_2} \right\}^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} \phi_i^{-1} \left(\alpha_i + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{n+1,j} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (60)$$

$$g_i(p, \tau, w, q, Y) = \frac{\frac{1}{c_3} \left\{ \frac{q_i}{c_3} \right\}^{\gamma_i-1} \left\{ \left(\frac{p+\tau w}{c_1} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{w}{c_2} \right)^{\gamma_i} + \left(\frac{q_i}{c_3} \right)^{\gamma_i} \right\}^{(1-\gamma_i)/\gamma_i} \phi_i^{-1} \left(\alpha_i + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{n+2,j} \ln \phi_j \right)}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{k=1}^{n+2} \beta_{jk} \ln \phi_k} \dots\dots\dots (61)$$

$$(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n, n+1, n+2)$$

4.2 数値計算事例

ここでは、前節で特定化を行ったモデルのパラメータ値を設定し、数値計算による渇水時の家計の水消

費行動パターンの変化について分析する。具体的には、 $p = 130$ 円、 $w = 2,000$ 円/ h_r 、 $q = (200, 300, 200, 300, 200, 200)$ 円、 $Y = 38,000$ 円とし、単位水量当たりの獲得所用時間 τ を $1.0 \sim 8.0$ h_r/m^3 の範囲で変化させて、サービス需要や要素需要との関連を分析した。

ここで、前節で示したモデルの特定化の結果、サービスの自己価格弾力性値 ρ_{kk} 、交叉価格弾力性値 ρ_{ik} 、ならびに、水の一般化価格に対する水の条件付き要素需要の弾力性値 e_{11}^k はそれぞれ、以下のように求められる。

$$\rho_{kk} = 1 - \frac{\beta_{kk}}{\left(\alpha_k + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{kj} \ln \phi_j\right)} + \frac{\sum_{j=1}^{n+2} \beta_{jk}}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{i=1}^{n+2} \beta_{ji} \ln \phi_i} \dots\dots\dots (62)$$

$$\rho_{ik} = \frac{\beta_{ik}}{\left(\alpha_k + \sum_{j=1}^{n+2} \beta_{kj} \ln \phi_j\right)} - \frac{\sum_{j=1}^{n+2} \beta_{ji}}{\sum_{j=1}^{n+2} \alpha_j + \sum_{j=1}^{n+2} \sum_{i=1}^{n+2} \beta_{ji} \ln \phi_i} \dots\dots\dots (63)$$

$$e_{11}^k = \varepsilon^k (1 - s_1^k) \dots\dots\dots (64)$$

ただし、

$$s_1^k = \frac{\left(\frac{p + \tau w}{c_1}\right)^{\tau_k}}{\left\{\left(\frac{p + \tau w}{c_1}\right)^{\tau_k} + \left(\frac{w}{c_2}\right)^{\tau_k} + \left(\frac{q_k}{c_3}\right)^{\tau_k}\right\}} \dots\dots\dots (65)$$

である。設定したパラメータ値をもとに、水の一般化価格に対する水需要の弾力性 σ_{11}^k や時間及び市場財の需要の弾力性 σ_{12}^k 、 σ_{13}^k 等を算定し、各サービスを分類すると **Table 2.** のようである。ここで、式(62)～式(65)は、式中に τ を含むため、これらの指標値によって分類されるサービスの類型が、 τ の増加とともに安定的に一つの類型に留まるといった一般的保証はない。しかし、ここで想定した τ の変化の範囲内 ($\tau = 1.0 \sim 8.0$ h_r/m^3) では、各々のサービスは **Table 2.** に示すように各々対応する 1 つの類型に留まっている。以下、数値計算の結果を略記する。

(1) 水量確保のための一般化費用

Fig. 2. に示すように、水量確保のための一般化費用 $(p + \tau w)x_k$ は、水の一般化価格に対する水需要の弾力性 σ_{11}^k が 1 より大きいサービス (service 1, service 3, service 5) において、水の一般化価格 $p + \tau w$ の増加にともなって増加し、1 より小さいサービス (service 2, service 4, service 6) において、水の一般化価格 $p + \tau w$ の増加にともなって減少している。水量確保のための一般化費用が増加しているサービスのうち、最も増加量の多いサービスは service 5 であり、最も増加量の少ないサービスは service 1 である。また、減少側では、最も減少量の大きいサービスは service 4 であり、最も減少量の少ないサービスは service 6 となっている。これは、 $|1 - \sigma_{11}^k|$ の値の大きさによる。すなわち、 $|1 - \sigma_{11}^k|$ が大きいサービスほど、水の一般化価格の変化に対する水量確保のための一般化費用の変化量は大きくなっている。

(2) 時間・市場財の消費量

Fig. 3. 及び **Fig. 4.** に示すように、水の一般化価格 $p + \tau w$ の増加にともなう時間・市場財の消費量の変化は、水の一般化価格に対する時間及び市場財の需要の弾力性から算定される指標 $\sum_{j \neq 1} s_j^k \sigma_{1j}^k$ が正となるサービスにおいて増加し、負となるサービスにおいて減少するという傾向を示す。厳密には、本指標の正負によって定まるのは、full income によって評価された時間と市場財の価値の和 $w t_k + q_k g_k$ の増減であ

Table 2. Calculated elasticities and assumed water consumption patterns of in-house services

	service 1	service 2	service 3	service 4	service 5	service 6	leisure time ℓ	composite commodity Z
ρ_{ik}	service 1	0.9752 } 0.9757	-5.490E-3 } -5.460E-3	-5.490E-3 } -5.460E-3	-5.490E-3 } -5.458E-3	-5.488E-3 } -5.458E-3	-5.489E-3 } -5.458E-3	-5.490E-3 } -5.460E-3
	service 2	-5.489E-3 } -5.460E-3	0.8930 } 0.9000	-5.490E-3 } -5.460E-3	-5.488E-3 } -5.457E-3	-5.489E-3 } -5.459E-3	-5.489E-3 } -5.458E-3	-5.489E-3 } -5.459E-3
	service 3	-5.489E-3 } -5.459E-3	-5.490E-3 } -5.460E-3	0.91081 } 0.9163	-5.490E-3 } -5.460E-3	-5.489E-3 } -5.458E-3	-5.489E-3 } -5.459E-3	-5.489E-3 } -5.458E-3
	service 4	3.293E-3 } 3.275E-3	3.292E-3 } 3.274E-3	3.293E-3 } 3.274E-3	1.065 } 1.066	3.295E-3 } 3.277E-3	3.293E-3 } 3.275E-3	3.294E-3 } 3.276E-3
	service 5	3.294E-3 } 3.276E-3	3.295E-3 } 3.276E-3	3.293E-3 } 3.274E-3	3.295E-3 } 3.276E-3	1.071 } 1.075	3.293E-3 } 3.275E-3	3.293E-3 } 3.275E-3
	service 6	3.294E-3 } 3.276E-3	3.292E-3 } 3.274E-3	3.294E-3 } 3.276E-3	3.292E-3 } 3.274E-3	3.292E-3 } 3.274E-3	1.014 } 1.014	3.293E-3 } 3.276E-3
	leisure time ℓ	3.294E-3 } 3.276E-3	3.296E-3 } 3.277E-3	3.294E-3 } 3.276E-3	3.292E-3 } 3.276E-3	3.294E-3 } 3.275E-3	1.008 } 1.008	3.293E-3 } 3.275E-3
	composite commodity Z	3.293E-3 } 3.275E-3	3.293E-3 } 3.274E-3	3.295E-3 } 3.276E-3	3.295E-3 } 3.277E-3	3.292E-3 } 3.274E-3	3.294E-3 } 3.276E-3	3.293E-3 } 3.275E-3
S_k		0.181 } 0.184	0.0486 } 0.0518	0.0578 } 0.0613	0.0480 } 0.0472	0.0445 } 0.0418	0.191 } 0.188	0.284 } 0.283
								0.145 } 0.144
η^k_{i1}		5.14E-3 } 5.26E-3	4.02E-2 } 2.02E-2	2.68E-2 } 2.67E-2	-1.39E-2 } -5.03E-3	-2.61E-2 } -3.49E-2	-7.77E-3 } -7.62E-3	-3.22E-3 } -3.12E-3
e^k_{11}		0.650 } 0.642	0.849 } 1.095	0.632 } 0.613	1.674 } 1.942	0.521 } 0.443	0.687 } 0.696	
s^k_{11}		0.337 } 0.345	0.406 } 0.234	0.336 } 0.357	0.163 } 0.029	0.323 } 0.424	0.326 } 0.318	
σ^k_{11}		0.979 } 0.979	1.212 } 1.304	0.939 } 0.940	1.849 } 1.973	0.870 } 0.903	1.022 } 1.022	
σ^k_{12}		1.39E-3 } 1.24E-3	0.217 } 0.123	1.36E-2 } 1.25E-2	0.150 } 0.027	-0.101 } -0.134	-1.11E-3 } -1.13E-3	
σ^k_{13}		1.39E-3 } 1.24E-3	0.217 } 0.123	1.36E-2 } 1.25E-2	0.150 } 0.027	-0.101 } -0.134	-1.11E-3 } -1.13E-3	
$1 - \sigma^k_{11}$		2.10E-2 } 2.09E-2	-0.212 } -0.304	6.12E-2 } 6.01E-2	-0.849 } -0.973	0.130 } 0.097	-2.15E-2 } -2.15E-2	
$\sum s^k_i \sigma^k_{ik}$		9.22E-4 } 8.12E-4	0.129 } 0.094	9.03E-3 } 8.03E-3	0.126 } 0.024	-0.068 } -0.077	-7.47E-4 } -7.70E-4	
pattern		(1)	(3)	(1)	(4)	(7)	(5)	

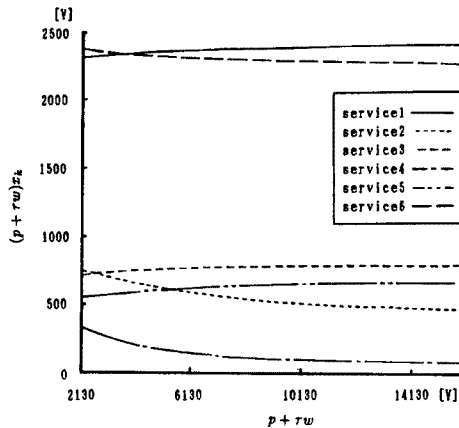


Fig. 2. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and generalized costs for gaining water $(p + \tau w)x_k$.

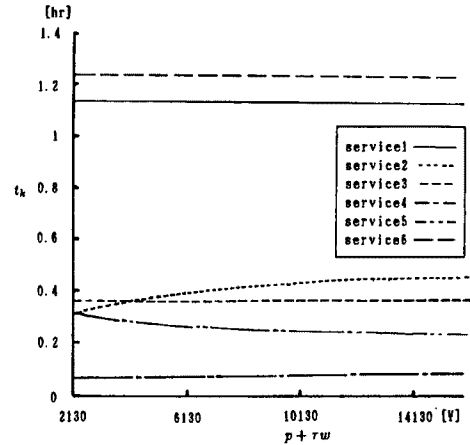


Fig. 3. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and demands for time to produce in-house services t_k .

るが、Fig. 3. 及び Fig. 4. より明らかなように、この数値計算事例では、本指標の正負によって時間・市場財の消費量の増減そのものが規定され、その増減の傾向も一致している。これは、家計生産関数として、CES型生産関数を想定したことの帰結である。CES型生産関数では要素需要間の代替弾力性は一定(ϵ_k)に保たれる。従って、減圧給水時のように、他の状況が一定で水の一般化価格のみが変化するという状況の下では、時間の水の一般化価格 $p + \tau w$ に対する限界需要 $\partial t_k / \partial (p + \tau w)$ が正であれば、市場財の水の一般化価格 $p + \tau w$ に対する限界需要 $\partial g_k / \partial (p + \tau w)$ も同様に正となることが保証される。

(3) 余暇時間及び合成財の消費量

Fig. 5. 及び Fig. 6. に、余暇時間及び合成財の消費量の変化を示す。これらは、単位水量当たりの獲得所用時間の増加にともなう水の一般化価格の上昇に対して、

単調に減少している。水の一般化価格の上昇に対してサービスの生産費用は増加または減少するが、ここで取り上げた数値計算事例では、Fig. 7. 及び Fig. 8. に示すようにサービス生産費用の増加量が減少量を上回っていることによる。実際の渇水の事例では、通常、家事労働時間の増加や臨時出費の増大等の影響が現れるが、この数値計算事例ではこのような状況が再現できている。

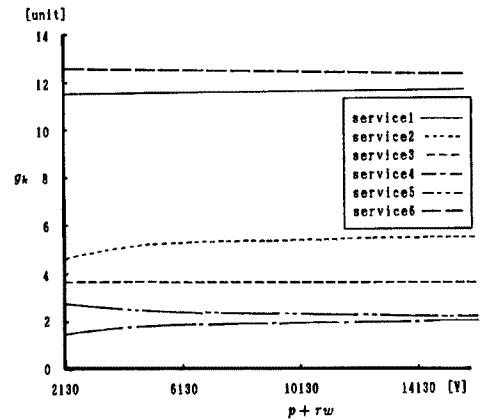


Fig. 4. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and demands for goods to produce in-house services g_k .

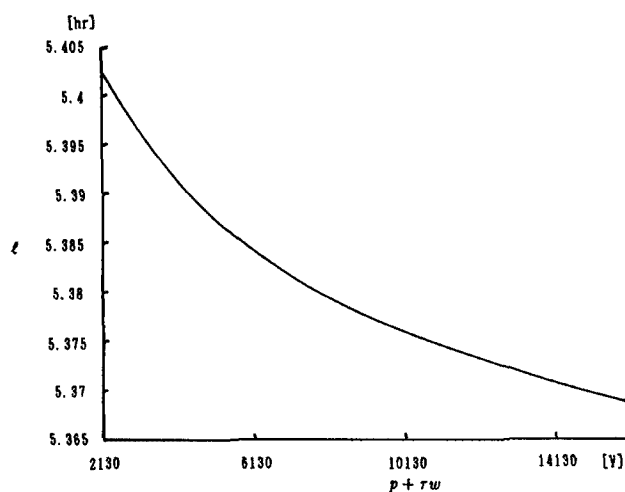


Fig. 5. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and demand for leisure time ℓ .

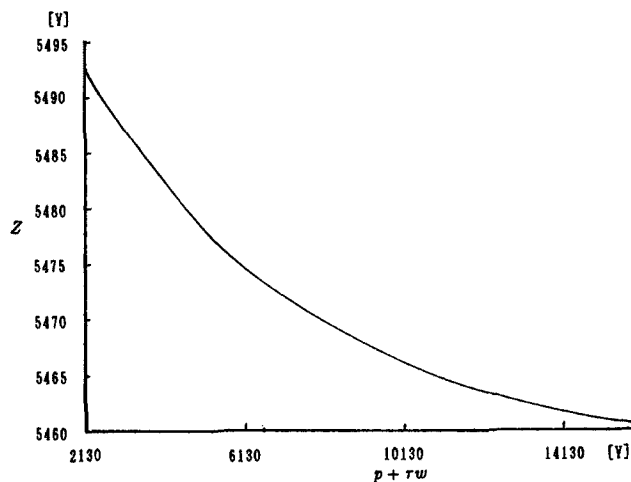


Fig. 6. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and demand for composite commodity Z .

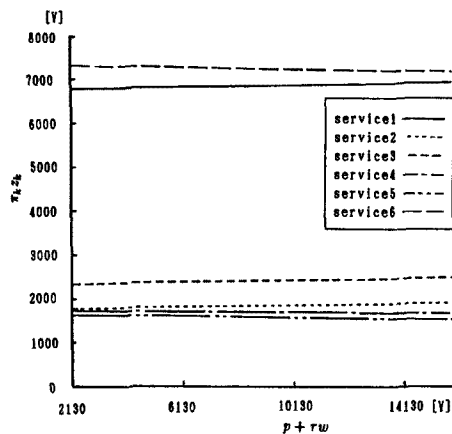


Fig. 7. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and costs for producing in-house services $\pi_k z_k$.

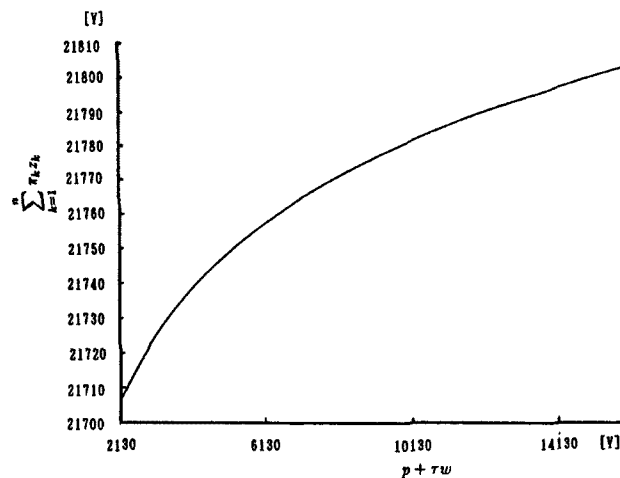


Fig. 8. Relationship between generalized price for gaining a unit amount of water $p + \tau w$ and total costs for producing in-house services $\sum_{k=1}^n \pi_k z_k$.

5. お わ り に

本研究では、ミクロ経済学的観点から渇水時の家計の水消費行動のモデル化を試みるとともに、比較静学分析を通じて家計におけるサービスの生産技術や嗜好の特性と渇水時の水消費パターンの関連性を分析した。

具体的には、まず、家計の水消費行動を水・時間・市場財を投入要素として生産される家庭内サービスの自己生産・自己消費行動であるとして位置づけ、家計の水消費行動を技術制約及び総所得制約下の効用最大問題として定式化した。ついで、減圧給水によって生じる単位水量当りの獲得可能水量の増大による家計の水消費パターンの変化について比較静学分析を通じて考察した。この際、水使用用途毎にことなる渇水時の水消費パターンと家計におけるサービスの生産技術や嗜好の特性とが密接な関係にあることを指摘した。さらに、家計におけるサービスの生産技術及び嗜好を表す指標として、水の一般化価格に対する水の条件付き要素需要の弾力性値及びサービス需要の自己価格並びに交叉価格弾力性を取り上げ、これらの値によって渇水時の水消費パターンが規定されることを示した。

本研究で提示したモデルは、渇水による水消費パターンの変化を明示的に取扱い得るモデルとなっており、今後、渇水時に行われる種々の水需要抑制策の効果を比較分析する等の政策分析を行うための基礎的な枠組みを提示し得たと考える。今後の課題としては、本モデルを拡張し、用途毎の水量割当規制や減圧給水等の政策の比較分析を行うことが必要である。また、水の再利用等、実際には渇水時には結合生産が行われることが多いと考えられるが、本研究の枠組みの中ではこのようなサービス生産の形態を取り扱うことはできない。このような結合生産を含む技術を明示的にモデルに組み込むためには、範囲の経済性を反映することのできる家計生産関数を導入していく必要がある。今後、上述の課題の解決を行い、研究の精緻化やモデルの適用範囲の拡大を図って行きたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 国土庁長官官房水資源部編：昭和 62 年版 日本の水資源—その開発、保全と利用の現状—、大蔵

- 省印刷局, No. 1508, 1987, pp. 27-39.
- 2) 千賀裕太郎: 水資源のソフトサイエンス, 鹿島出版会, 1989, pp. 1-44.
 - 3) 建設省土木研究所: 渇水時の水管理に関する計画学的研究, 土木研究所資料, No. 1508, 1979.
 - 4) 森杉寿芳, 大島伸弘: 渇水頻度の低下による世帯享受便益の評価法の提案, Vol. 359 /IV-3, 1985, pp. 91-98.
 - 5) 建設省土木研究所: 渇水被害の計測について, 土木研究所資料, No. 1502, 1979.
 - 6) 多々納裕一, 岡田憲夫, 小林潔司: 給水制限が水消費行動に与える影響に関する研究, 水資源研究センター報告, Vol. 10, 1990, pp. 43-59.
 - 7) Gary S. Becker: A Theory of the Allocation of Time. The Economic Journal, 1965, pp. 493-517.
 - 8) Robert A. Pollak and Michael L. Wachter: The Relevance of the Household Production Function and its Implications for the Allocation of Time, Journal of Political Economy, 1978, pp. 255-277.
 - 9) ハル R. ヴァリアン: ミクロ経済分析, 勁草書店, 1987, pp. 1-185.