

# 渇水頻度の低下による世帯享受便益の評価法の提案

## A METHOD FOR EVALUATING HOUSEHOLD BENEFITS OF REDUCTION IN WATER-SHORTAGE FREQUENCY

森杉寿芳\*・大島伸弘\*\*

By Hisayoshi MORISUGI and Nobuhiro OSHIMA

This study proposes a definition and its measurement method of the household benefits of reduction in water-shortage frequency. In order to do so, firstly, this paper defines the benefits under uncertainty for the decrease in level of household's anxiety due to various water-shortage policies, and shows that the proposed definition is reasonable in the sense that the relative algebraic value order of the defined benefits is exactly identical to that of the expected utility levels. Secondly, by formulating the residential location behavior under the uncertainty, this paper devises a type of indirect utility function form which has not income constraint but the value of which takes into account the income constraint. Thirdly, applying the logit model for this theoretical result, this paper proposes a measurement method of the defined benefits. Lastly, through a case study in Osaka area it is shown that the proposed method has the reliable and fairly efficient applicability.

### 1. はじめに

渇水による家計部門の被害は、労働投入費用などの直接的経済被害と、不便さ、不潔感などのような心理的被害とに大別できる<sup>1)</sup>。

従来の家計部門における経済的被害の推定方法の代表的なものに、渇水被害防止費用の推定がある<sup>2)</sup>。これは、主として、渇水時に平常の家庭生活を維持するために費やされる費用であり、1日当たりの渇水被害  $D$  は、次式で示される。

$$D = |k \times (\text{家事労働増加時間}) + (\text{物品購入費})| / (\text{断水日数})$$

ただし、 $k$ ：時間当たりの労働単価

また、代替価格方式による被害額の推定法の提案もある<sup>3)</sup>。これは、渇水時に給水を受けに行くなどの付加的な労働が発生し、その行為を第三者に依託して行う場合に支払う価格を基本に構成するものである。したがって、被害額は、(付加的労働時間)×(時給額)で示される。

一方、心理的被害の推定方法としては、W.T.P法 (Willingness to Pay法) が挙げられる<sup>4)</sup>。これは、住民が渇水の被害をなくすために支払ってもよいと考える

金額を直接質問する方法である。しかし、このような金額を直接回答することはきわめて困難であり、その結果、推定値は非常に不安定なものとなる。

これら既往の研究は、渇水の発生後における被害の計量であり、確実性下の評価である。しかし、渇水の頻度面、すなわち、渇水がある確率で発生するというような不確実性に対する研究は、全く行われていない。

この渇水頻度の低下の便益を計算する手法としては、従来の研究例にはないが、地価の変動を回帰分析し、渇水被害を求めるといふ、いわゆる地価分析が考えられる。しかし、理論的にみて地価の変動分が渇水被害に一致するかどうかは、かなり疑問である<sup>5),6)</sup>。

本研究は、家計に着目し、「渇水による水不足が起こるかもしれない」という不安感の減少、すなわち、安心感の向上という効果(便益)を測定しようというものである。このとき、安心感の便益をいかに定義し、かつ、測定するかが問題となる。しかし、理論経済学分野を含めて納得のいく測定法はおろか便益の定義すらも確立していない。そこで、本研究では、不確実性が減少することと安心感の向上とを捉えたときの、便益の定義を提案することを第1の目的とする。第2の目的は、定義した便益を測定する方法として、期待効用仮説に基づく多属性効用関数法を提案することである。第3の目

\* 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部建設工学科  
(〒501 岐阜市柳戸1-1)

\*\* 正会員 工修 (株)長大センター

的は、本研究の提案した便益の定義とその測定法の実用性をケーススタディーを通じて確かめることである。

以上の3つの目的を達成するために、以下、2. では不確実性下の世帯の住宅立地行動の定式化を行い、3. では、渇水頻度の低下による便益の定義の提案を行うと同時に本定義の妥当性について述べる。4. では、多属性効用関数法による便益の測定法の提案を行い、5. では、ケーススタディーを行って本研究の実用性を検討する。

ただし、本研究では、渇水の頻度に焦点をあてるために、渇水の規模(あるいは渇水被害の程度)は一定とする。具体的には、昭和53年8月に池田市で発生したレベルであり、これは、約3週間にわたり給水制限(平均約80%, 最悪期75%)が行われ、そのうちの3日~1週間の間、毎日断水が数時間行われるという被害を想定する。したがって、本研究の前提は、渇水がない状態か、あるいは、上述の被害程度の渇水が生じている状態の2つからなるものとしている。

## 2. 不確実性下における住宅立地行動の定式化

渇水頻度の低下の便益を定義するには、世帯の住宅立地行動を定式化する必要がある。その定式化を行うに当たって以下のような仮定を設ける。

① 不確実性下では、世帯は予算制約下での期待効用最大化行動を行うものとする。

② 世帯の不確実性下での満足度を示す総合評価指標は、期待効用値  $E[U_p]$  で表わされるものとする。ここに、 $E[U_p]$  は渇水の有無それぞれの状態における効用水準  $U_1$  および  $U_0$  の渇水有無の確率  $P$  および  $1-P$  による加重和として定義される。

③ 不確実性は、渇水の有無の2つの事象に対してのみあるものとし、事象  $i$  (渇水あり1, 渇水なし0) のもとの効用水準  $U$  は、価格1の合成財  $Z_i$ 、住宅属性ベクトル  $x_i$ 、および事象  $i$  によってのみ決定されるものとする。ただし、合成財の価格は、事象  $i$  によっては変化しないものとする。

以上の仮定のもとでの世帯の住宅立地行動は、一般に以下のように定式化される。

$$\max E[U_p] = P \cdot U(Z_1, x_1, 1) + (1-P) \cdot U(Z_0, x_0, 0) \quad \dots\dots\dots (1\cdot a)$$

$$\text{s. t. } Z_1 + R_1(x_1) = I_1 + R_1(\bar{x}_1) \quad \dots\dots\dots (1\cdot b)$$

$$Z_0 + R_0(x_0) = I_0 + R_0(\bar{x}_0) \quad \dots\dots\dots (1\cdot c)$$

ただし、 $P$  : 渇水の発生確率、 $E[U_p]$  : 渇水の発生確率が  $P$  のときの期待効用、 $R_i(x_i)$  : 購入しようとする住宅の事象  $i$  での価格 (事象  $i$  下での購入しようとする住宅の属性ベクトルを  $x_i$  とする)、 $R_i(\bar{x}_i)$  : 世帯が所有している住宅価格 (所有している住宅の属性ベクトルを  $\bar{x}_i$  とする)、 $I_i$  : 事象  $i$  での住宅賃貸収入以外の年間所得。

ここに、住宅価格  $R$  とは、市場で売買される住宅価格を年費用に換算したものである。

なお、式 (1・b) および式 (1・c) において、右辺は収入項を、左辺は支出項を表わしている。

式 (1) で示した世帯の住宅立地行動は、式 (1・b) と式 (1・c) を式 (1・a) に代入すると、制約条件なしの期待効用最大化行動として、次のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \max E[U_p] = & P \cdot U\{I_1 + R_1(\bar{x}_1) - R_1(x_1), x_1, 1\} \\ & + (1-P) \cdot U\{I_0 + R_0(\bar{x}_0) - R_0(x_0), x_0, 0\} \\ & \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

確実性下では、1つの予算制約下で効用最大化行動として定式化しているのに対して<sup>7)</sup>、式 (1) または (2) で示した不確実性下の住宅立地行動では、効用の代わりに期待効用となっている。また、予算制約が不確実性を有する事象ごとに異なっている。予算制約が事象ごとに変わる(可能性がある)のは、まず、住宅属性ベクトル  $x_i$  および  $\bar{x}_i$  が物理的に被害を受けて変化する(可能性がある)、また渇水時と平常時の住宅価格  $R(x_i)$  および  $R(\bar{x}_i)$  は異なる(可能性がある)、また、他に所有している資産(土地など)や修理費のために家賃収入以外の収入  $I_i$  も変わる(可能性がある)ことを示している。この点では、式 (1) は一般性をもった不確実性下での住宅立地行動の定式化であるとみなし得る。しかし、渇水の場合には、一般に、住宅の物理被害も、住宅価格も、また所得も、渇水時と平常時とは変わらないと思われるので、以下の便益の定義では、式 (1・b) および式 (1・c) が全く同一とみなして分析を進める。

## 3. 便益の定義

### (1) 不確実性下での便益の定義

渇水対策を行った場合、それに伴って渇水の発生する確率が小さくなる、すなわち、渇水の頻度が低下するものとする。渇水頻度の低下による世帯享受便益は、渇水がいつ発生するのかわからないという不安感が減少したという効果の評価にほかならない。ここでは、ある確率  $P$  で渇水が発生するという状態から、何らかの渇水対策によって環境改善がなされ、渇水が発生する確率  $P'$  ( $P' < P$ ) の状態に変化したとする場合に、このような不確実性を有する渇水対策による便益の定義の提案とその意義を記す。

まず、以下の仮定を設ける。

① 評価対象は、渇水の有無にかかわらず居住し続ける自宅居住者とする。すなわち、 $x_1 = \bar{x}_1 = \bar{x}_0 = x_0 = x$  これは、渇水発生による住み替えを考慮せず、住宅属性も変化しないことを意味する。

② 世帯の所得  $I$  は、渇水の有無にかかわらず、また、渇水対策の有無にかかわらず一定とする。すなわち、 $I_1$

$= I_0 = I$ 。これは、渇水時の家計の直接支出費用がないことを仮定することを意味する。直接支出費用  $C$  があるときには、 $I_1 = I - C$  とすればよい。

この2つの仮定のもとでの世帯の期待効用の値は、

$$E[U_P] = P \cdot U(I, x, 1) + (1 - P) \cdot U(I, x, 0)$$

さらに、渇水対策の有無のそれぞれの自宅居住者の期待効用  $E[U_P]$  および  $E[U_{P'}]$  は、次のように表現することができる。

- ① 渇水対策がなく、渇水の発生確率が  $P$  のとき (変化前)

$$E[U_P] = P \cdot U(I, x, 1) + (1 - P) \cdot U(I, x, 0)$$

- ② 渇水対策があり、渇水の発生確率が  $P'$  のとき (変化後)

$$E[U_{P'}] = P' \cdot U(I, x, 1) + (1 - P') \cdot U(I, x, 0)$$

- ③ 渇水対策による渇水の頻度低下の効果

自宅居住者の渇水対策の効果は、期待効用の変化分  $\Delta E[U]$  で測定される。すなわち、 $\Delta E[U] = E[U_{P'}] - E[U_P]$ 。

この期待効用の変化分を貨幣タームに換算したものを便益という。そして、その方法として、確実性下における等価的偏差 (Equivalent Variation, 略して  $EV$ ) の概念を拡張する。不確実性下の  $EV$  は、以下の2つの条件を満足する金額をいう。

条件①:  $EV$  とは、変化前の状態において、変化後の期待効用レベルを維持するという条件のもとに、その当該変化を断念するのに必要な最低補償限度額をいう。

条件②: 補償の形式として、渇水の有無にかかわらず一定の  $EV$  を補償してもらうとする。

以上のように定義された不確実性下での便益、すなわち、 $EV$  の概念を図示したものが、図-1 および図-2 である。

図-1における  $X, Y$  軸は、それぞれ渇水有無時の所得レベル、 $P$  軸は渇水発生確率を示す。したがって、渇水対策がなく、渇水の発生確率  $P$  という状態 (変化前の状態) は  $A$  点  $(I, I, P)$  として、また、渇水対策を行い、渇水の発生確率  $P'$  という状態 (変化後の状態) は、 $A'$  点  $(I, I, P')$  として図示されている。さらに図の曲線  $E[U_P]$  および上の  $E[U_{P'}]$  は、それぞれ  $A$  点、 $A'$  点と同じ期待効用をもつ  $(X, Y, P), (X, Y, P')$  の組合せを示した無差別曲線である。さらに、図の下の  $E[U_{P'}]$  は、 $(X, Y, P)$  平面上に変化後の期待効用レベル  $E[U_{P'}]$  と同じ期待効用をもつ無差別曲線を表わしたものである。図-1の  $(X, Y, P)$  平面上を示したのが図-2である。ただし、 $C$  点は、渇水時には所得がゼロとなっても、効用レベル  $E[U_P]$  を維持できると自宅居住者が考えている平常時の所得レベルを示す。

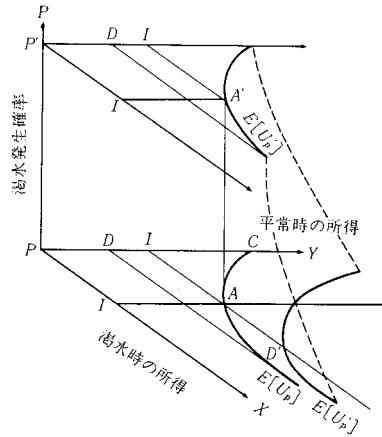


図-1 EV の概念 (その1)

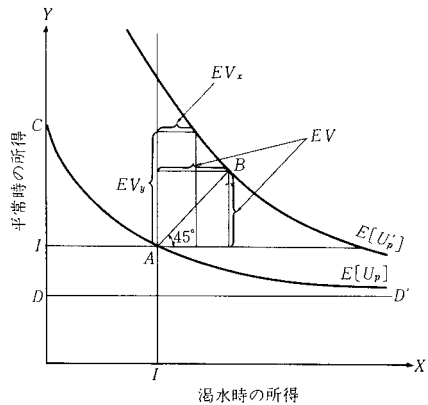


図-2 EV の概念 (その2)

また、 $D$  点は、平常時に最低必要とする所得レベルを示し、すべての無差別曲線の漸近線は、直線  $DD'$  で与えられる。

図-2において、変化後の期待効用レベル  $E[U_{P'}]$  を保つに必要な任意の補償額の組合せ  $(EV_x, EV_y)$  は、原点を  $A$  点  $(I, I)$  に移動させたときの横軸および縦軸として示される。また、条件①および②を満足する  $EV$  の値は、 $A$  点の  $45^\circ$  の直線と  $E[U_{P'}]$  の曲線との交点、 $B$  点の座標として与えられる。この  $EV$  の値は、式 (3) を満足する  $EV$  の値となる。

$$E[U_P(I + EV)] = E[U_{P'}(I)] \dots \dots \dots (3-a)$$

ただし、

$$E[U_P(I + EV)] \equiv P \cdot U(I + EV, x, 1) + (1 - P) \cdot U(I + EV, x, 0) \dots \dots \dots (3-b)$$

$$E[U_{P'}(I)] \equiv P' \cdot U(I, x, 1) + (1 - P') \cdot U(I, x, 0) \dots \dots \dots (3-c)$$

式 (3) を満足する  $EV$  の値こそが、渇水頻度低下の便益にほかならない。

(2) ケーススタディーにおける便益の定義

本研究におけるケーススタディーでは、何らかの渇水対策により渇水の発生確率  $P$  がゼロ、すなわち、 $P'=0$  の状態に変化した場合の便益 ( $EV$ ) を測定する。このときの  $EV$  は、式 (3) において  $P'=0$  とし、式 (4) を満足する  $EV$  の値となる。

$$P \cdot U(I+EV, x, 1) + (1-P) \cdot U(I+EV, x, 0) = U(I, x, 0) \dots\dots\dots (4)$$

(3)  $EV$  による便益の定義の妥当性

① いま、渇水頻度低下対策がなされる前の効用レベルを  $E[U_p(I)]$  で示すと、

$$E[U_p(I)] \equiv P \cdot U(I, x, 1) + (1-P) \cdot U(I, x, 0) \dots\dots (5)$$

式 (5) は当然のことながら、(3-b) において、 $EV=0$  としたときに等しい。したがって、

$$E[U_p(I)] \equiv E[U_p(I)] \Leftrightarrow EV \equiv 0 \dots\dots\dots (6)$$

なることを示している。このことは、頻度対策前後の期待効用レベルの大小に 1対1 に対応して、 $EV$  の値が正負となることを示している。

② 次に、渇水頻度のレベルが、 $P, P', P''$  の3つある場合を考える。この3つの期待効用レベルを  $E[U_p(I)], E[U_{p'}(I)], E[U_{p''}(I)]$  と書く。式 (3-a) の定義に従い、 $P \rightarrow P'$  の  $EV$  を  $EV'$ 、 $P \rightarrow P''$  の  $EV$  を  $EV''$  とすると、全く同様の議論により、

$$E[U_p(I)] \equiv E[U_{p'}(I)] \equiv E[U_{p''}(I)] \Leftrightarrow 0 \equiv EV' \equiv EV'' \dots\dots\dots (7)$$

となり、やはり、期待効用の大小関係と  $EV$  の値の大小関係が一致する。

③ したがって、 $EV$  は、期待効用の大小関係を忠実に保存している。この性質は、少なくとも過去の理論経済の分野を含めた知見の範囲内では、 $EV$  以外の便益の定義が持ち合わせていない  $EV$  の望ましい性質である。

たとえば、本研究で提案した  $EV$  の拡張形と対称的な定義である補償偏差 (Compensating Variation, 略して  $CV$ ) の拡張形による不確実性下の便益の定義も考えられる。 $CV$  の定義およびその拡張形は、先の議論において、サフィックス  $P$  と  $P'$  を置き換え、 $EV$  を ( $-CV$ ) と置き換えればよい<sup>8),9)</sup>。しかし、この場合には、確実性下においてすら3つ以上の代替案があるときに  $CV$  と効用レベルとの大小順位が必ずしも一致するとは限らないという致命的欠陥がある<sup>10),11)</sup>。したがって、不確実性下においては、いわんや望ましい定義とはいえない。

4.  $EV$  の測定方法の提案<sup>12)</sup>

(1) 本方法の概要

3. で述べた  $EV$  による便益の定義に基づいて、渇水の有無にかかわらず居住し続ける自宅居住者の  $EV$  を

測定する。このためには、期待効用関数の特定化と推定を行う必要がある。本研究で提案する渇水対策の便益を測定するための手順を示すと、次のようになる。

- ① 適当な関数を期待効用関数として仮定し、特定化する。
- ② アンケート調査を実施する。
- ③ 期待効用関数を推定する。
- ④  $EV$  を計算する。

(2) 期待効用関数の特定化

これについては、5. 事例研究において述べる。

(3) アンケート調査

本方法では、仮定した期待効用関数を推定するために、一対比較形式の住宅選択に関するアンケート調査を行う。具体的には、住宅価格と住宅属性が互いに異なる2つの仮想的な住宅代替案間での選好を尋ねるという形式をとる。典型的な質問は、次のようである。まず、ある立地条件をもつ仮定の住宅Aにその購入価格をつけてもらう。そして、「あなたが住宅を購入する場合を想定して下さい。ここに2つの代替案があります。1つは、住宅Aで、価格はあなたが回答された値段、しかも渇水の危険性は全くありません(代替案A)。もう1つは、5年に1回程度の渇水の危険性があるが、住宅価格はAよりも200万円安い(代替案B)。このとき、他の住宅属性が全く同じであるとすれば、あなたはAとBのどちらを購入しますか。」という質問を行う。ただし、渇水の規模の程度は、1. の最後に述べたようなレベルであることを回答者に明示する。具体的には、池田市でアンケートを行っているので、「ただし、渇水の程度は、昭和53年の8月の渇水程度であるものと考えて下さい。」というただし書きをつける。一対比較質問の例を表-1に示

表-1 一対比較質問の例

渇水頻度と住宅価格					
	住宅 A	住宅Aがよい	甲乙つけがたい	住宅Bがよい	住宅 B
条件①	渇水の危険性は全くない。値段はあなたが回答された値段				20年に1回の割合で渇水の危険性があるが、値段は、住宅Aより200万円安い。
条件②	同上				10年に1回の割合で渇水の危険性があるが、値段は、住宅Aより200万円安い。
条件③	同上				5年に1回の割合で渇水の危険性があるが、値段は、住宅Aより200万円安い。
条件④	同上				1年に1回の割合で渇水の危険性があるが、値段は、住宅Aより200万円安い。
条件⑤	同上				1年に数回、渇水の危険性があるが、値段は、住宅Aより200万円安い。

す、本アンケート調査は、パラメーターの安定性を増加させるために、上記の一对比較質問を住宅価格と渇水頻度のみならず、広さ、通勤、買物、公共サービスなどのさまざまな住宅属性の一对を取り出して、その比較結果を回答させる。

(4) 期待効用関数の推定方法

(3) で述べた選好結果は、式(2)に、 $x_1 = x_0 = x$ ,  $I_1 = I_0 = I$ ,  $R_1 = R_0$  を代入したとき、期待効用値の大きい代替案を選択しているとみなすことができる。すなわち、特定の所得  $I$  を有し、住宅  $\bar{x}$  をもっている人が、上記の代替案 A および B を選択したときの期待効用値を、 $E[U_A]$  および  $E[U_B]$  とすると、この2つの値は、A および B の代替案を選択したときの変数の値を式(2)に代入すれば得られる。すなわち、

$$E[U_A] = P_A \cdot U|I + R(\bar{x}) - R(x_A, x_A, 1) + (1 - P_A) \cdot U|I + R(\bar{x}) - R(x_A, x_A, 0)$$

$$E[U_B] = P_B \cdot U|I + R(\bar{x}) - R(x_B, x_B, 1) + (1 - P_B) \cdot U|I + R(\bar{x}) - R(x_B, x_B, 0)$$

となる。そして選好結果に応じた期待効用の値の大小関係が次式を満足しているものとみなす。

$$A \preceq B \Leftrightarrow E[U_A] \leq E[U_B]$$

ただし、記号  $\prec$ ,  $\sim$ ,  $\succ$  は、それぞれ、A より B を好む、無差別である、B より A を好むという選好関係を示す。 $\leq$  は、実数値の大小関係を示す。

したがって、種々の組合せの一对の住宅についての、各個人の選択関係を聞くことにより、それを最もよく再現するような  $E[U]$  の関数型を求めることが、期待効用関数の推定方法の考え方である。

ところで、同一の世帯属性においてすら人々の期待効用関数は全く同一ではないと思われるので、本研究では、 $j$  番目の代替案の期待効用  $E[U_j]$  に加法式で誤差項を導入する。すなわち、 $E[U_j] = E[U_j] + \epsilon_j$  ただし、 $\epsilon_j$  は一定の分布をする確率変数を示す。このとき、任意の代替案 A と B の比較において、A および B を選択する確率  $P_A$  および  $P_B$  は、それぞれ、 $P_A = \text{Prob}(E[U_A] \geq E[U_B])$ ,  $P_B = \text{Prob}(E[U_A] \leq E[U_B])$  となる。そして、データはこの選択確率の実現値とみなすことができる。 $P_A$  は、もし  $\epsilon_j$  を平均 0、分散  $\sigma^2$  のガンベル分布に従うと仮定するとロジットモデルが誘導され、 $P_A = 1 / [1 + \exp\{h(E[U_B] - E[U_A])\}]$  となる。ただし、 $h = \pi / \sqrt{6} \sigma$ 。また、 $\epsilon_j$  を平均 0、分散  $\sigma^2$  の正規分布に従うと仮定するといわゆるプロビットモデルが誘導される。これまでの研究において両者とも精度が同じ程度なので、本研究では、関数型の簡単なロジットモデルを採用する<sup>7)</sup>。そして、これらのパラメーター推定には、最尤法が使用され、非集計モデルとして周知の方法であるので省略する<sup>13)</sup>。

(5) EV の測定方法

渇水の有無にかかわらず居住し続ける自宅居住者の EV を測定するには、3. の不確実性下での便益の定義に従えばよい。すなわち、前節における方法によって推定された期待効用関数を式(3)あるいは式(4)に適用し、EV について解くことにより求められる。

(6) 本提案の特徴

第1に、本方法は、世帯の住宅立地選択において、渇水頻度が重要な立地条件になるという点に着目している。渇水が発生するのは、一定の範囲にある通勤圏内の地域の中の一定の小区域部分であることは、上水供給のメカニズムから明らかである。したがって、個人は広範囲な通勤可能地から、渇水頻度の異なる(そして他の立地条件も当然異なる)立地条件をもつ住宅を選択する場合を現実的に想定し得る。この意味で、回答者は現実味をもって解答しやすいといえることができる。

第2に、本方法は、(3) に述べたように、アンケート方式であるという点で、W.T.P 法と同じ分類に入る。しかし、本方法は、渇水頻度を含むさまざまな属性をもつ住宅の一对比較を行わせしめ、この選択結果によく適合するように効用関数型とパラメーターを推定している。したがって、推定された便益は、渇水頻度と、通勤時間や広さなどの住宅立地条件および価格との代替性をも考慮された斉合性のある形になっている。この点で、本提案による便益推定値は、W.T.P 法と比較してより信頼性が高いと考えられる。しかも、W.T.P 法とは異なり、その信頼性の程度を統計理論に従ってパラメーターの  $t$  値や相関係数によって定量的に示すことができる。

第3に、本方法は、渇水のみならず、たとえば、洪水、地盤沈下、大気汚染、騒音、振動、水質汚濁による病気の発生、交通事故、火災の可能性などの不確実性を伴う事態の対策であり、かつ、その対策のサービスが、住宅立地の重要な要因となる場合の便益や被害費用の測定に適用できる点で一般性をもつと考える。

5. ケーススタディー (事例研究)

(1) ケーススタディーの概要

ここでは、4. で述べた EV の測定方法に基づいて、3 つの期待効用関数型を適用し、大阪府池田市南部でアンケート調査された一对比較質問法によるデータを使用して、特定化された期待効用関数のパラメーターを推定し、それぞれの適合性を比較検討する。また、推定された期待効用関数を用いて、EV を算出し、それについて考察する。

なお、使用するデータは、大阪府池田市において、昭和 55 年 12 月上旬にアンケート調査を行い、得られたものである。調査対象は、池田市南部の自宅居住者で、標

本数は40票である。そして、調査方法は、訪問回収方式によるものである<sup>1)</sup>。

(2) 期待効用関数の特定化

前節のアンケート調査から、期待効用関数に組み込む評価属性を7つ考え、その評価主体、評価属性、および期待効用関数型を次のように設定した。

- ① 評価主体：渇水の有無にかかわらず居住し続ける自宅居住者
- ② 評価属性：一般合成財  $x_1$  (万円)、住宅の広さ  $x_2$  (m<sup>2</sup>)、通勤の便  $x_3$  (分)、日当たり  $x_4$  (時間)、買い物の便  $x_5$  (分)、公共サービス  $x_6$  (便利1, 不便0)、渇水の危険性  $x_7$  (渇水の危険性あり1, なし0)
- ③ 期待効用関数型として、次の3種類を考えた。

(線形)

$$h \cdot E[U] = P \cdot [h x_1 + W_2 x_2 + W_3 (a_3 - x_3) + W_4 x_4 + W_5 (a_5 - x_5) + W_6 x_6 + W_7 x_7] + (1 - P) \cdot [h x_1 + W_2 x_2 + W_3 (a_3 - x_3) + W_4 x_4 + W_5 (a_5 - x_5) + W_6 x_6 + W_7 x_7]$$

(対数線形)

$$h \cdot E[U] = P \cdot [h \ln x_1 + W_2 \ln x_2 + W_3 \ln (a_3 - x_3) + W_4 \ln x_4 + W_5 \ln (a_5 - x_5) + W_6 \ln (a_6 + x_6) + W_7 \ln (a_7 + x_7)] + (1 - P) \cdot [h \ln x_1 + W_2 \ln x_2 + W_3 \ln (a_3 - x_3) + W_4 \ln x_4 + W_5 \ln (a_5 - x_5) + W_6 \ln (a_6 + x_6) + W_7 \ln (a_7 + x_7)]$$

(CES型)

$$h \cdot E[U] = P \cdot [-(h/\rho) \{ \ln |W_1 x_1^{-\rho} + W_2 x_2^{-\rho} + W_3 (a_3 - x_3)^{-\rho} + W_4 (a_4 + x_4)^{-\rho} + W_5 (a_5 - x_5)^{-\rho} + W_6 (a_6 + x_6)^{-\rho} + W_7 (a_7 + x_7)^{-\rho} | \} + (1 - P) \cdot [-(h/\rho) \{ \ln |W_1 x_1^{-\rho} + W_2 x_2^{-\rho} + W_3 (a_3 - x_3)^{-\rho} + W_4 (a_4 + x_4)^{-\rho} + W_5 (a_5 - x_5)^{-\rho} + W_6 (a_6 + x_6)^{-\rho} + W_7 (a_7 + x_7)^{-\rho} | \}]]$$

ただし、 $E[U]$ ：自宅居住者の期待効用 (万円)

$h$ ：誤差項の分散を示すパラメーター

$W_i$ ：各評価項目の重み ( $i=1 \sim 7$ )

$\rho$ ：代替パラメーター

$a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ ：定数

$P$ については、 $T$ 年間に1回の割合で、渇水が発生するという確率  $P$ は、 $P=1/T$ とする。また、1年間に1回、および1年間に数回の場合は、 $P=1$ とした。

また、合成財  $x_1$ の取扱いは、4.(4)に述べたように住宅代替案  $i$ に対しては、 $x_1 = I + R(\bar{x}_i) - R(x_i)$ を代入し、便益評価に際しては、3.(1)に仮定②に従って、自宅居住者であるから、 $x_1 = I$ を代入する。

(3) 特定化した期待効用関数の理論的性質

線形期待効用関数は、最も簡単な関数型であり、この特徴は、無差別曲線が直線となり理論的矛盾を有するが、一方、解析が容易で取り扱いやすいという利点をもつ。非線形期待効用関数を仮定した場合、関数型が複雑で計算も困難なことが多い。したがって、他の関数型の近似式として線形を採用する。

次に、対数線形期待効用関数は、無差別曲線が原点に対して凸となり、より現実的な関数であるといえる。また、これは限界効用の逓減性を満足する最も簡単な関数型であるので、採用する。

さらに、CES型期待効用関数の主な特徴は、代替弾力性  $\xi (=1/(1+\rho))$ が一定であること、そして、代替パラメーター  $\rho$ の値に応じて線形 ( $\rho=-1$ )、対数線形 ( $\rho=0$ )、L字形 ( $\rho \rightarrow \infty$ )をその特殊型として含む一般的な関数であることである。なお、代替弾力性とは、財の量の比率の変化率  $d(X_2/X_1)/(X_2/X_1)$ を限界効用の比率の変化率  $d(U_1/U_2)/(U_1/U_2)$ (ただし、 $U_i = \partial U / \partial X_i$ )で除した値である<sup>14)</sup>。

(4) 期待効用関数の推定結果と検討

5.(2)で提案したモデルによる多属性期待効用関数のパラメーターの推定結果は、表-2のとおりである。

表-2に示すように、線形、対数線形、CES型のいずれの関数型にしても十分な  $t$ 値、相関係数 COR、適中率 Hit R および尤度指数  $\rho^2$ 値を得たので、いずれの関数型に対するパラメーター推定も信頼のおけるものであるといえる。採用した関数型の精度を表わす指標である COR、Hit R、 $\rho^2$ 値に注目すると、線形とCES型はほとんど差がなく上位にある。この両者に比べて、対数線形は適合性がやや劣っている。このパラメーター推定の結果からは、理論的に優れていると思われるCES型

表-2 パラメーターの推定結果

	$a_3$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$h$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	Hit R	COR	$\sigma^2$	$\rho^2$			
Linear	150	20			0.045	0.065	0.053	0.267	0.111	3.380	-4.086	0.759	0.860	812.3	0.262			
$t$ -value					7.045	8.266	8.746	8.050	6.616	9.668	-10.262							
Log-Linear	85	20	5	2	4.879	5.366	1.420	1.719	0.625	16.084	4.567	0.723	0.831	0.0691	0.252			
$t$ -value					3.634	6.064	2.222	6.417	4.500	32.875	5.464							
	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$\rho$	$h$	Hit R	COR	$\sigma^2$	$\rho^2$
CES	81	1	20	3	2	96.88	49.56	8.195	13.02	5.759	50.08	26.77	0.062	42.54	0.747	0.881	$9.1 \times 10^{-4}$	0.219
$t$ -value						222.3	36.93	7.382	6.617	6.663	31.01	$1.7 \times 10^6$	158.5	$2.9 \times 10^6$				

(Hit R：適中率 COR：相関係数  $\sigma^2$ ：分散  $\rho^2$ ：尤度指数)

と、線形との優劣がつけがたい。また、このことは、無差別曲線が直線となる欠陥を有しながらも、単純な線形仮定のもとで、自宅居住者の行動が説明できることを示している。この3つの関数型の主な相違点は、前節の期待効用関数の理論的性質において述べたように、無差別曲線の曲率（限界代替率）の違いにある。表-2の結果より、その曲率を示す  $\rho$  の値が0.062であることから、真の期待効用関数は、線形に近い対数線形と考えられる。

(5) EV の推定結果と検討

いま、渇水対策によって、渇水頻度が  $P$  から 0 に減少したものとす。このときの EV の値は、上の推定結果を式(4)に適用すれば求める。すなわち、

(線形)  $EV = -P \cdot W_1 / h$

(対数線形)  $EV = I[a_1^{W_1/h} - 1]$

(CES 型) CES 型の場合、解析的には解くことができないので、次式を満足する EV の値を繰り返し計算によって求める。

$$EV = [(1/W_1) \{ \exp(1/P) \ln(W_1 I^{-\rho} + A + W_2 2^{-\rho}) - A - W_2 \}]^{-1/\rho} - I$$

表-3 EV の推定結果 (万円/年・戸)

P	1/20	1/10	1/5	1	
Linear	4.5	9.1	18.2	90.8	
Log-Linear	8.2	16.8	34.6	228.3	(I=250)
Log-Linear	12.3	25.2	51.9	342.5	(I=375)
Log-Linear	16.5	33.5	69.3	456.6	(I=500)
CES	3.3	6.7	13.5	76.2	(I=250)
CES	5.1	10.3	20.8	117.7	(I=375)
CES	6.9	13.9	28.3	160.2	(I=500)

表-4 EV の推定結果 (万円/月・戸)

P	1/20	1/10	1/5	1	
Linear	0.38	0.76	1.52	7.57	
Log-Linear	0.69	1.40	2.88	19.00	(I=250)
Log-Linear	1.03	2.10	4.33	28.50	(I=375)
Log-Linear	1.38	2.79	5.78	38.10	(I=500)
CES	0.28	0.56	1.13	6.35	(I=250)
CES	0.43	0.86	1.73	9.81	(I=375)
CES	0.58	1.16	2.36	13.40	(I=500)

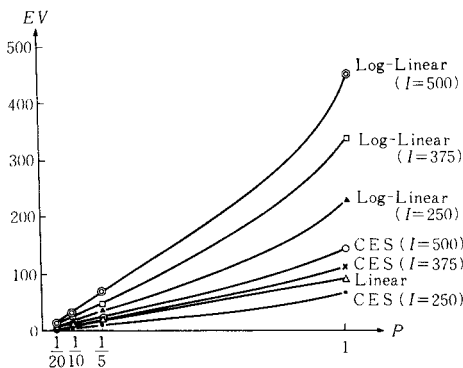


図-3 EV の推定結果 (万円/年・戸)

$$+ (1 - 1/P) \ln(W_1(I + EV)^{-\rho} + A + W_2 2^{-\rho}) - A - W_2 \}^{-1/\rho} - I$$

ここに、 $A = W_2 x_2^{-\rho} + W_3(a_3 - x_3)^{-\rho} + W_4(a_4 + x_4)^{-\rho} + W_5(a_5 - x_5)^{-\rho} + W_6(a_6 + x_6)^{-\rho}$

3つの関数型での EV の推定結果を示したものが表-3で、それをグラフに示したものが図-3である。また、EV の推定結果を月額にしたものが表-4である。なお対数線形、CES 型では、年間所得別、高所得層 (I=500 万円)、平均所得層 (I=375 万円)、低所得層 (I=250 万円) のそれぞれの EV を測定した。

図-3において、パラメーターの推定結果から優劣の判定がつけられなかった線形と CES 型に対して、この2つの関数型よりも劣っていると判断された対数線形では、EV の値が非常に大きくなっている。したがって、やはり対数線形は、期待効用関数として不適当であるといえる。

また、線形の場合、EV のグラフが直線 (渇水の危険性に対する便益の増加率が一定) となっていることは、EV の算出式において、EV が P に比例していることより明らかである。しかも、EV の値は所得に依存せず、いかなる所得層においても一定の値となるという欠点は当然の理論的帰結である。さらに、図-3から、線形は、CES 型の近似解としてもその EV の値がかなりくい違っている。これらのことより、線形も不適当であるといえる。

ところで、真の期待効用関数が線形に近い対数線形と考えられることより、真の EV は線形に近い指数関数的なものであると思われる。実際、対策がない状態における渇水の危険性が高いほど便益の増加率が大きくなると考えられるわけである。そこで、再度図-3をみると、CES 型の場合の EV は、そのような関数となっている。

以上より、3者の中では理論的にも最も優れた関数型と考えられた CES 型が、実用的にもやはり期待効用関数として最適な関数型であるといえる。すなわち、CES 型は、理論的にも実証的にも優れていることが判明したので、これ以後は、CES の結果を用いて考察する。

表-3、表-4をみると、たとえば、5年に一度ぐらいある渇水被害を全くなくする (渇水頻度低下) 対策の便益を考えると、CES 型では、14~28 万円/年・戸 (1.1~2.4 万円/月・戸) という値を得ている。これは、渇水対策の便益、すなわち、安心感の向上という便益が非常に大きいことを示している。本研究では、渇水頻度がゼロに改善された場合の便益評価を行ったので、これぐらいの大きな値は妥当なものと思われる。

6. おわりに

本研究で得られた結論は、以下のとおりである。

(1) 従来の研究を踏まえ、渇水による被害は、渇水発生そのものによって生じる直接的被害だけでなく、「渇水が起こるかもしれない」という渇水の危険性に対する心理的不安感も測定すべきであると主張した。

(2) 不確実性下での便益をいかに定義するかを明らかにしその定義の理論的な妥当性を示した。その際、期待効用最大化仮説を導入し、EV の概念を拡張する方法を示した。

(3) 一般的に定義された便益を、ケーススタディーを通じて実際に推定された期待効用関数型から測定する方法を提案した。

(4) 本方法は、世帯が居住地を選択する際、住宅立地対象区域内において渇水頻度が重要な選択指標になり得るという点に着目した。すなわち、渇水頻度が地域公共財であることに着目し、住宅立地行動という現実性を有するシミュレーションモデルより世帯の効用関数を推定し、この推定された効用関数から渇水頻度低下の便益が計算可能であることを示した。

(5) 本方法は、属性の異なる住宅代替案における一対比較の選択結果により、それを最もよく再現するように効用関数型を推定している。したがって、推定された便益は、渇水頻度と、他の住宅立地条件との代替性を考慮した斉合性のある形となっている。この意味で、W.T.P 法と比較してより信頼性が高いものとなり、また、その信頼性の度合いを統計理論に基づいて確かめることが可能である。

(6) 線形期待効用関数は、理論的にも実用的にも便益評価においても所得の変化による影響を考慮できないため不適当であることを明らかにした。

(7) 自宅居住者の期待効用関数型としては、線形、対数線形をも包含した CES 型が、理論的にも実用的にも対象とした3つの中では、最適であることが明らかになった。

(8) 本研究で提案した手法は、渇水のみならず、洪水、地盤沈下、大気汚染などの不確実性を伴う事態の対策の便益や被害費用の測定に適用できることを示唆した。

なお、以下のような今後の課題が残されている。

(1) 本方法を適用した対象は、環境変化の有無にかかわらず居住し続ける世帯のみであり、住み替え世帯への適用は、考慮されていない。

(2) 期待効用関数の特定化において、渇水の発生する頻度および渇水の危険性による不安感の有無を考慮して関数型を構成しており、発生する渇水の規模(程度)の変化が、期待効用あるいは便益に及ぼす影響の分析が行われていない。

(3) CES よりもさらに一般的な関数型 VES (Var-

iable Elasticity of Substitution) の適用性に対する考察も残っている。

(4) 本研究では、一対比較質問結果より効用関数を推定したが、実際の人々の住宅立地行動結果そのものをデータとすることもできる。このとき、意識と実際行動のギャップがあると思われる。この実際行動をデータとしたときの推定値と本研究のそれとの比較検討も残されている。

謝 辞：本研究の考え方を発表した土木計画学研究発表会場(1984年1月岐阜)でのコメンター仲上健一氏、および司会者であった中村英夫氏より有益なコメントをいただいた。また、ケーススタディーの計算には、岩瀬広氏および市川千尋氏の協力を得た。ここに記して謝す。

#### 参 考 文 献

- 1) 三菱総合研究所：渇水対策の便益評価に関する検討業務報告書，1981。
- 2) 今村瑞穂・関 正和・中村 昭：渇水の構造分析と流水管理への適用，土木技術資料 No.21-9, 1979。
- 3) 近畿地方建設局・淀川ダム統合管理事務所：淀川本川流域における渇水被害額の計量化調査(昭和54年度)，1980。
- 4) 建設省土木研究所：渇水被害の計画について，土木研究所資料 No.1502, 1979。
- 5) Starrett, D. A. : Land value capitalization in local public finance, *Journal of Political Economy*, Vol.89, No.2, pp.307-327, 1981。
- 6) 金本良嗣：第3章 地方公共財の理論，公共経済学の展開(岡野行秀・根岸隆編)，東洋経済新報社，pp.29-48, 1983。
- 7) 森杉寿芳・岩瀬 広：住宅立地行動の予測と住環境の便益評価の統合手法の提案，土木計画学研究・論文集，No.1, pp.131-138, 1984。
- 8) 御巫清泰・森杉寿芳：新体系土木工学49，社会資本と公共投資，第3章，技報堂，pp.178-193, 1981。
- 9) 市川千尋：渇水対策の便益評価に関する研究，岐阜大学工学部土木工学科卒業研究，1984。
- 10) 森杉寿芳：交通便益の概念とその測定理論，高速道路と自動車，Vol.27, No.4, pp.17-26, 1984。
- 11) Morisugi, H. : A Basic definition of transport benefits—Advocating equivalent variation—, *Proceedings of the World Conference on Transport Reserch*, Vol.2, pp.1143-1157, 1984。
- 12) 森杉寿芳・岩瀬 広・大島伸弘：不確実性下の費用便益分析—渇水対策を例にして—，土木計画学研究・講演集，No.6, pp.291-298, 1984。
- 13) McFadden, D. : Quantitative methods for analysing travel behavior of individuals, some recent developments, in *Behavioural Travel Modelling* eds. by D. A. Hensher and P. R. Stopher, Croom Helm, pp.279-318, 1979。
- 14) 熊谷尚美・篠原三代平編：経済学大辞典，東洋経済，pp.184-189, 1975。(1984.7.11・受付)