

被害の評価法に関する考察

—— 渇水を中心として ——

岡田 憲夫・多々納裕一

EVALUATING SOCIAL DAMAGES CAUSED BY DISASTERS

—— WITH REFERENCE TO DROUGHT

By Norio OKADA and Hirokazu TATANO

Synopsis

It is commonly said that the major objective of disaster prevention is to reduce social damages caused by disasters. From this viewpoint this paper examines methods to evaluate social damages caused by disasters. Social damages caused by disasters are often evaluated by the expected losses to society (social losses). The social loss is defined as the decrease in social welfare measured in monetary term from ordinary to disaster state. It is claimed that "*ex ante*" and "*ex post*" evaluation of disaster-caused damages should be strictly distinguished. *Ex ante* evaluation which is conducted in planning disaster prevention facilities requires the probability distribution of social damages to be identified *a priori*. The paper demonstrates that the social expected loss as an evaluation criterion may well reflect the characteristics of the disasters but fail to evaluate the social preferences of the probability distributions of the resultant social damages.

1. はじめに

「災いは鬼神のなせる業」。「災」を解字すれば、水と火、それが生活を阻むと読めるという。水と火は鬼神のなせる業、鬼神とは人知の及ばぬ力、抗しても抗しきれないもの。それはつまるところ、「害」をもたらすもの。営みを阻み、損なうもの。これは古代の人々の素朴な〈災い観〉であろう。

従って、「災害」の原イメージは、「人知の及ばぬ力」と「抗して抗しきれないこと」、そして「営みを損なうこと」に帰することができよう。このプロトタイプモデルは、言い換えれば、それぞれ「〈不確実性〉を有する（超人為的）〈外力〉」、「〈人為〉的対応」、そして「結果としての〈被害〉」の概念により構成されるといえる。この場合、「災害」には人為的な営みが関わっていても、あくまでもそれを現象的に捉えており、マネジメントしようとする意図は明示化されていない。これに対して「防災」は、不確実性を有する外力とその結果としての被害を「リスク」として認識し、これに対して人為的かつ計画的にこれに抗していこうとする「リスクマネジメント」であると解釈することができる。この場合、リスクマネジメントとしての防災の良し悪しの評価が重要である。筆者らは「被害の評価」という観点からこの問題にアプローチすることを試みている。本論文はそのための第一歩である。なお、以下でいう「防災」では主として渇水のマネジメントを想定している。

2. 被害の評価の考え方

2.1 被害の分析か被害の評価か

災害に伴う被害を研究するにあたって、それが分析段階までにとどまるのか、それとも何らかの形で評価にまで踏み込むのかという区別が重要である。その違いは、そこに関わっている人為的な営みを災害に関するマネジメントの良し悪しという観点から何らかの形で価値判断するか否かに依っている。

従って、例えば既に生じた災害についてその被害の規模や範囲などを調査したり、その原因や生起のメカニズムを分析したとしてもそれだけでは「被害の評価」ではない。「防災的営み」としてその施策の効果について価値判断してはじめて「被害の評価」であるといえる。この意味で災害の調査・分析はありえても「災害の評価」という言い方は適切ではない。評価はマネジメントに関わるものであり、この意味で被害の評価は防災の評価である。

2.2 事前の評価か事後の評価か

被害の評価にあたって、それが事前の評価か事後の評価かという視点での区別が重要である。すなわち、災害が生起する以前にどのような防災的対応を計画しておくべきかという視点から、生起するであろう（不確実な）被害を評価する場合が前者である。これに対して、特定の災害が実際に生起してしまった後に、その被害を評価するのが後者である。前者は、防災の計画という観点から最も適切な対策を事前に設計し、決定しておくための評価である。後者は既に生じた災害を対象とし、防災対策として想定され、採択されていた対策がどの程度適切であったかを評価するものである。ただし、現実には被害の事後の評価は被害の事後分析あるいはそれ以前の事後調査にとどまらざるをえないことが多い。とりあえず「災害のメカニズム」が分からなければ被害の評価に踏み込むことはできないのであるから、これは必要なプロセスである。むしろ「災害のメカニズム」自体が明確にはならないことが多いので、被害の事後の評価まではなかなか至らないというのが現実であろう。

また、被害の事後の評価は、事前の評価からつながる一連の防災計画的営みとして積極的に位置づけることが有効であろう。そのために、前述したような「災害のメカニズム」が防災計画の対象となりうる程度に明確になっていることが不可欠であるといえる。

2.3 被害の経済的評価法

上述したように被害の評価にあたっては、それに関わる人為的な営みをマネジメントとして捉え、その良し悪しについて何らかの価値判断を下すことを必要とする。人為的な営みを防災という観点から積極的に位置づけるならば、それに関わる施策の効果に対して価値判断することが被害の評価であるといえる。このような価値判断を行う場合、対象地域に居住する住民の立場から、防災に関する施策の望ましさを評価することが望ましい。防災に関する施策は、住民が災害時に直面する環境やその生起確率を改変する。従って、地域住民の視点から、防災に関する施策の望ましさを評価することが適切であろう。このような施策の望ましさの評価を、プロジェクトがもたらす環境へのインパクトという視点から計量化するアプローチとしては、「経済的評価」と呼ばれる一連の試みがある。Hirschmidtら¹⁾は、環境への影響に関する便益・費用の評価技法をTable 1のように分類・整理している。この表で分類されている評価法は、必ずしもその背景となっている厚生経済学上の理論との整合性が保たれているわけではないが、住民が直面する種々の環境の変化に対応した便益あるいは費用の経済的評価法を整理しているという点で実用的であろう。著者らは、環境及びその確率分布の望ましさの評価を必要とする防災プロジェクトの評価問題に関して、従来用いられてきている厚生経済学的諸概念の理論的な斉号性という視点から、より緻密な議論を展開する必要性を感じている。本論文は、このための1つの一里塚を築くための試論を提示するものである。

Table 1. Classification of Cost and Benefit Valuation Techniques for Assessing Effects of Environmental Quality

Valuation technique	Examples of application	
	Producer goods and services	Consumer goods and services
<i>Market oriented</i>		
1. Benefit valuation using actual market prices of productive goods and services		
(a) Changes in value of output	Loss of value of agricultural crops caused by seepage of toxic chemicals	
(b) Loss of earnings	Value of productive services lost through increased illness and death caused by air pollution	
2. Cost valuation using actual market prices of environmental protection inputs		
(a) Preventive expenditures	Cost of environmental safeguards in project design	Cost of noise insulation; cost of intake water treatment
(b) Replacement cost	Cost of replacing structures damaged by acid rain	Cost of additional painting of houses damaged by air pollution
(c) Shadow project	Cost of restoring commercial fresh-water fisheries damaged by discharges	Costs of supplying alternative sport fishing and recreational facilities destroyed by development project
(d) Cost-effectiveness analysis	Cost of alternative means of disposing of waste-water from a geothermal energy project	
3. Benefit valuation using surrogate markets		
(a) Marketed goods as environmental surrogates	Cost of sewage treatment processes as proxy for water purification by ecosystems	Price paid for visits to private parks and entertainment as proxy for value of visits to wilderness area
(b) Property value approach	Changes in commercial property value as a result of water pollution	Changes in residential property value from air pollution
(c) Other land value approach		Prices paid by government for land reserved for national parks
(d) Travel cost		Valuation of recreational benefits of a public park
(e) Wage differential approach		Estimation of willingness of workers for improved environmental quality
(f) Acceptance of compensation	Compensation for damage to crops	Compensation for adverse health effects, e.g., Minamata disease
<i>Survey Oriented (hypothetical valuation)</i>		
1. Direct questioning of willingness to pay		
(a) Bidding games		Estimate of willingness to pay for access to an urban park
2. Direct questioning of choices of quantities		
(a) Costless choice method		Hypothetical applications to air pollution

2.4 本論文の構成

以下、本論文では、防災計画の計画プロセスの中で、被害の事前的評価と事後的評価の役割を明確にするとともに、事後、事前の被害評価場面における被害の評価方法を示す。この際、「渇水」を対象として事例分析を行い、具体的な被害評価の方法を提示する。すなわち、防災計画の計画プロセスの中に被害の事後的評価、事前的評価を位置づけるのであれば、これらの被害評価は計画の「策定(Plan)」、「実施

(Do)」、「評価(See)」というマネジメントサイクルの中に沿って行う必要がある。事後的評価は、計画の「評価(See)」の段階に位置づけられる。計画を「評価(See)」する目的は、計画時点では見落としていた要因や対応を発見し、災害の発生機構を明確にして、次なる計画のために既に実施・評価された計画の事後的評価結果をフィードフォワードすることにある。すなわち、事前的評価をおこなって計画の「策定(Plan)」を行う際には、災害発生メカニズムに関する知見は不可欠である。このため、事後的評価によって得られた災害の発生機構に関する計画情報は、これから新たに行う防災計画「策定(Plan)」の段階において極めて重要な意味を持つ。

一方、事前的評価は計画の「策定(Plan)」の段階に位置づけられる行為であろう。事前的評価の主たる目的は、防災施策の代替案の効果を分析・評価し、望ましい代替案を特定することにある。従って、事前的評価にあたっては、代替案の望ましさを計量化することが重要であり、そのためには経済的なアプローチが有効であると考えられる。この際、地域住民の視点からは、防災に関する施策の望ましさは実現する環境やその確率分布の望ましさと評価されることになる。実現する環境やその確率分布の望ましさは、被害の期待値の変化等の単純な指標で表現されるわけではない。被害の期待値の変化は、防災プロジェクトの実施にともなう生じる環境やその確率分布の変化の一側面を捉えたに過ぎず、その望ましさを、すなわち、地域住民の厚生という観点からは十分な指標であるとは言えない。このような観点から、事前的評価を実施する際に適用可能な指標に関して理論的な考察を加える。

さらに、本論文では「渇水」を取り上げ、上述の被害の事後的・事前的評価法を具体的に計画プロセスに取り入れるための方法を提示するとともに、その有効性を数値計算を通じて明らかにする。渇水はある程度まで「不確実性の外力」の生起のパターンが知れており、その意味で「人為的対策」が可能である。また、「災害のメカニズム」も比較的明示化しやすいという特徴がある。従って、事後的評価においては、渇水被害の発生メカニズムを明確化するとともに、それを踏まえた渇水被害の計量化法を示す。さらに、得られた知見をもとに事前的評価を行い、渇水対策プロジェクトの評価・設計を行うための方法を提示する。最後に、若干の数値計算事例を示し、本論文で提案した方法の有効性を検証する。

3. 事 後 的 評 価

3.1 被害の定義

ここでは、「被害」及び「被害額」という概念を明確に定義する。事後においては災害を引き起こした外力は確定しており、それによって生じた状態も定まっている。生起した状態に対応して個人の厚生が定まるとすれば、災害の発生によって個人が被る被害は、平常時と災害時の厚生水準の差であると解釈することができるであろう。そこで、本論文では代表的個人にとっての「被害」を平常時と災害時の厚生水準の差として定義する。

今、平常時におけるシステムの状態を x_0 、防災に関わる施策の水準を ξ としよう。ここで、代表的個人を取りまく環境が、システムの状態と防災に関わる施策の水準によって定まっているとする。このとき、平常時における代表的個人の環境は $Q(x_0 | \xi)$ のように表すことができる。代表的個人の厚生水準を間接効用関数 $V(\cdot)$ を用いて表現すれば、平常時の厚生水準は $V(y, Q(x_0 | \xi))$ のように与えられる。ここで、 y は代表的個人の所得である。災害を引き起こす外力 F の生起によって、システムの状態が x に変化したとすると代表的個人の環境は $Q(x_0 | \xi)$ から $Q(x | \xi)$ に変化する。従って、代表的個人の災害時の厚生水準は $V(y, Q(x | \xi))$ によって与えられる。

代表的個人にとっての被害 ΔU は、次式のように平常時と災害時の厚生水準の差として定義できる。

$$\Delta U = V(y, Q(x | \xi)) - V(y, Q(x_0 | \xi)) \quad \text{..... (1)}$$

事後的評価の意義は、災害を引き起こす外力の大きさやその影響の記述を通じて、災害の発生機構を明

らかにし、それ以降に策定する防災計画にフィードフォワードすることにある。従って、事後的評価では、災害によって生じる個人の環境の変化の機構や、環境変化にともなう厚生変化の機構を明らかにすることが必要となる。すなわち、事後的評価を通じて、間接効用関数 $V(\cdot)$ やシステムの状態と個人の環境の関係を記述する関数 $Q(x|\xi)$ を同定することが不可欠である。事後的評価によってこのように関数の同定が行われれば、被害構造を明らかにすることができる。このことは、事後的評価が、防災計画策定のための極めて重要な情報を提供し得ることを示している。

さて、代表的個人にとっての被害は ΔU (式(1)) で与えられることがわかった。しかしながら、 ΔU は平常時と災害時における代表的個人の厚生水準の差を表しているにとどまり、異なる個人間での相互比較は難しい。このため、社会的な被害を計量化するためには、 ΔU を金銭換算し、集計的な指標を算定することが必要である。そこで、本論文では、平常時と災害時における代表的個人の厚生水準の差の金銭換算値を「被害額」と定義し、「被害額」の集計値を社会的被害額と定義する。ここで、社会が n 人の等質な個人からなるとすれば、社会的な被害額は代表的個人の被害額に比例することとなる。

厚生変化 ΔU の金銭換算指標としては、一般に 1) 消費者余剰の変化量、2) 等価変分、3) 補償変分が利用可能である。以下では、これらの指標の定義を示すとともに、これらの指標の評価の特性に関し考察する。

3.2 消費者余剰の変化量

ΔU を金銭換算する最も直接的な方法は、所得の限界効用 $\lambda = \partial V / \partial Y$ を用いることである。所得の限界効用は、所得を 1 単位増加させることによって生じる効用の増加量を示している。従って、その逆数 $1/\lambda$ は効用を 1 単位増加させることと等価な所得の増加額を意味する。すなわち、 $1/\lambda$ は効用 1 単位の価値を計る指標であると考えることができる。ここで、 λ が任意の Q に対して一定であると仮定すると、 $\Delta U/\lambda$ は災害の発生によってもたらされる環境の変化 $Q(x_0|\xi) \rightarrow Q(x|\xi)$ に伴う厚生の変化 ΔU に比例し、 ΔU の金銭換算値となっている。ここで、 $\Delta U/\lambda$ は消費者余剰の変化量 $\Delta CS(x|\xi)$ と呼ばれる。次式に、 $\Delta CS(x|\xi)$ の定義を示す。

$$\Delta CS(x|\xi) = \frac{\Delta U}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3.3 等価変分、補償変分

等価変分 $EV(x|\xi)$ 、補償変分 $CV(x|\xi)$ は、次式の解として定義される。

$$V(Y + EV(x|\xi), Q(x_0|\xi)) = V(Y, Q(x|\xi)) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V(Y, Q(x_0|\xi)) = V(Y - CV(x|\xi), Q(x|\xi)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

補償変分 $CV(x|\xi)$ は、環境の変化 $Q(x_0|\xi) \rightarrow Q(x|\xi)$ に対する最大の支払意志額であり、等価変分 $EV(x|\xi)$ は環境の変化の結果生じる厚生の変化をあきらめるのに必要な最小の補償額である。この場合、環境は平常時の環境 $Q(x_0|\xi)$ から災害時の環境 $Q(x|\xi)$ へと変化するから、この変化によってもたらされる厚生の変化は負の値をとる。このため、これらの指標値も負の値をとる。このことを考慮し、より具体的にこれらの指標の絶対値を解釈しよう。式(3) 及び式(4) より、補償変分の絶対値 $|CV(x|\xi)|$ は、平常時の厚生水準を災害時においても維持することができるように、災害時において補償されるべき最小の金額を与えている。一方、等価変分の絶対値 $|EV(x|\xi)|$ は、災害時の厚生水準と等しい厚生水準を平常時に実現することができるように、平常時の所得から取り去るべき最大の金額を与えている。言い換えれば、等価変分の絶対値 $|EV(x|\xi)|$ は、災害によって生じる状態 $Q(x|\xi)$ を回避し、平常時の状態 $Q(x_0|\xi)$ にとどまるために、代表的個人が支払う意志のある最大の金額を与えていると言える。

3.4 評価の整合性

上述したような評価指標はいずれも災害によってもたらされる代表的個人の「被害 ΔU の金銭換算値」による評価を想定しているが、これと「 ΔU による評価」、すなわち、厚生の変化に基づく評価との間で整合性が常に満たされるとは限らない。厚生の変化に基づく評価との整合性を判断する基準として「符号保存性」及び「順序保存性」がある。「符号保存性」とは、「状態の変化にともなって生じる厚生変化の符号と当該評価指標の符号が一致する性質」である。また、「順序保存性」とは「複数の状態変化に対する代表的個人の厚生の変化に基づく順序づけと当該評価指標による順序づけが一致するという性質」である。

上述の評価指標、すなわち、消費者余剰 CS 、補償変分 CV 及び等価変分 EV は、一般に符号保存性を有するが、順序保存性を有するのは EV のみで、 CS 及び CV は一般には順序保存性を有さない²⁾³⁾⁴⁾。

消費者余剰は符号保存性を有するが経路依存性のために順序保存性は有さない²⁾⁵⁾。補償変分 CV は符号保存性を有するが一般には順序保存性を有さない。効用関数がホモセティックであるかまたは準線形である場合に限り、順序保存性を有することが示されている³⁾⁴⁾。等価変分 EV に関しては、符号保存性・順序保存性を有することが証明されている^{例えば、2)}。従って、評価の整合性という観点からは、等価変分 EV を被害額の評価指標として用いることが望ましいと言える。

4. 事前の評価

事前の評価を行う場合には、災害を引き起こした外力は既知であり、そのような外力がもたらす被害状況を分析し、被害の機構を明確にすることが主な評価の目的となる。事前の評価では、防災計画の代替案の設計評価が行われる。多くの場合、事後の評価や理論的考察を通じて被害の発生機構を明確に捉えることができるが、災害を引き起こす外力は、事前には不確実である。従って、事前の評価では不確実な外力を前提として防災計画の代替案を設計評価する必要がある。

ここで、過去のデータや資料から、外力の発生確率やその分布がほぼ推計できる場合もあるが、観測回数が乏しかったり、過去にそのような外力が生じたことがないために、外力の発生確率を求めることが困難な場合もある。被害の発生機構に関して十分な知見が得られている場合もあるが、それが明らかでない場合も少なくない。現実には、このように外力の発生確率や被害の発生機構が十分に解明されていない段階であっても、事前に防災計画上の意志決定を行う必要がある。このような問題に関する現実的要請は強いが、本論文では取り扱わず今後の課題としたい。本論文では、対象とする災害について調査・研究が蓄積され、被害の発生機構や外力の確率分布が明確になっているとみなせる場合を対象として、事前の評価の方法に関して考察する。次章の事例分析では「渇水」を取り上げるが、渇水を対象とした防災は比較的这种な前提が成立するであろう。

4.1 保全便益の定義

防災施設の整備は、災害の生起確率分布や災害時の被害を変化させ、社会的な厚生を増進する。従って、防災計画の代替案を設計・評価する際には、社会的な厚生という観点から、災害や災害によって生じる被害の生起確率分布が防災プロジェクトの実施にともなって変化することに着目し、その変化の望ましさを評価することが必要である。ここで、社会を等質な個人の集合であると考え、社会的な厚生の変化は代表的個人の厚生の変化に比例する。従って、防災プロジェクトの望ましさは、プロジェクトの実施にともなう災害や災害時の被害の生起確率分布の変化に対して、代表的個人が抱く望ましさ、すなわち不確実性下の代表的個人の効用水準の変化として評価することができる。

不確実性下の代表的個人の厚生水準は期待効用によって表現される。代表的個人の期待効用は、システムの状態 x の生起確率を $\phi(x|f)$ として、次式のように定義される。

$$E[V(Y, Q(x|\xi))|\xi] = \sum_x V(Y, Q(x|\xi))\phi(x|\xi) \dots\dots\dots (5)$$

事前分析では、防災計画の代替案の効果を評価することが必要である。代替案の効果は、厚生を増分として計量化することが望ましいと考えられる。現況における防災施設の整備水準を ξ_0 とし、防災計画の代替案 i に対応する整備水準 ξ_i を実施するとした場合の代表的家計の厚生水準の増加量 $\Delta_0 EU$ は、次式のように与えられる。

$$\Delta_0 EU = E[V(Y, Q(x|\xi_i))|\xi_i] - E[V(Y, Q(x|\xi_0))|\xi_0] \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 $\Delta_0 EU$ は金銭タームの指標ではないため、費用便益分析等を直接用いて、防災プロジェクトの評価を行うことはできない。このため、 $\Delta_0 EU$ を金銭換算し、保全便益を算定することが必要である。保全便益は、災害の発生確率の減少や災害時の被害の軽減によってもたらされる厚生変化を金銭換算した指標である。保全便益は不確実性下の厚生の変化 $\Delta_0 EU$ の金銭換算値となる。不確実性下の厚生の変化 $\Delta_0 EU$ の金銭評価指標としては、期待被害軽減額や option price 等が利用可能である^{6)~10)}。以下では、これらの指標の定義を行う。

4.2 期待被害軽減額

防災計画の事前的評価を行う際には、期待被害軽減額を用いることが多い。防災プロジェクトの実施は、災害の発生確率や災害時の被害額を軽減する。期待被害軽減額は、このような被害軽減額の期待値を与える指標である。この指標は、事後分析等の結果をもとに積み上げ的に算定することができる。また、金銭タームの評価指標であることから、広く費用便益分析等を行う場合に用いられている。

ある強度の外力に対応する被害額が、前章で示したような平常時と災害時の厚生水準の差に基づいて算定されているとしよう。ここでは、前章で定義した等価変分 $EV(x|\xi)$ 、補償変分 $CV(x|\xi)$ に基づく期待被害軽減額($\Delta_0 E[EV]$ 及び $\Delta_0 E[CV]$)の定義を示す。

等価変分、補償変分の期待値($E[EV(x|\xi)|\xi]$ 及び $E[CV(x|\xi)|\xi]$)は次式のように与えられる。

$$E[EV(x|\xi)|\xi] = \sum_x EV(x|\xi)\phi(x|\xi) \dots\dots\dots (7)$$

$$E[CV(x|\xi)|\xi] = \sum_x CV(x|\xi)\phi(x|\xi) \dots\dots\dots (8)$$

従って、期待被害軽減額 $\Delta_0 E[EV]$ 及び $\Delta_0 E[CV]$ は以下のように定義できる。

$$\Delta_0 E[EV] = E[EV(x|\xi_i)|\xi_i] - E[EV(x|\xi_0)|\xi_0] \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta_0 E[CV] = E[CV(x|\xi_i)|\xi_i] - E[CV(x|\xi_0)|\xi_0] \dots\dots\dots (10)$$

4.3 Option price

option price は実現する状態 x とは独立な確定的支払意志額として次式のように定義される。

$$E[V(Y+OP_o, Q(x|\xi_0))|\xi_0] = E[V(Y, Q(x|\xi_i))|\xi_i] \dots\dots\dots (11)$$

$$E[V(Y, Q(x|\xi_0))|\xi_0] = E[V(Y-OP_c, Q(x|\xi_i))|\xi_i] \dots\dots\dots (12)$$

OP_o 及び OP_c はいずれも防災プロジェクトに対する確定的な支払意志額を表す。ここで OP_o は現況を基準とするのに対して、 OP_c は防災プロジェクト実施後を基準とする点に違いがある。すなわち、 OP_o は現況のプロジェクトの整備状況 ξ_0 において、防災プロジェクト実施後の期待効用水準を達成するためを与えるべき最小金額である。これに対して、 OP_c は防災プロジェクト実施後の状態 ξ_i において、当該プロジェクトに対して支払い得る最大金額である。

4.4 評価の整合性

(1) 不確実性下の評価の整合性

プロジェクト(代替案)の評価・設計を行う際には、当該プロジェクトが社会的な厚生をどれだけ高め

ることができるかを評価し、代替案の集合に含まれる複数のプロジェクトのうちで最も社会的な厚生を高めるようなプロジェクトを採択することが合理的であると考えられる。従って、このようなプロジェクトの経済的評価を行う際には当該プロジェクト実施にともなう代表的個人の厚生の変化を評価することが必要である。事前的評価の局面においては、災害を引き起こす外力は不確定であるから、代表的個人の直面する環境も不確定となる。上述したようにこのような局面における代表的個人の厚生は、期待効用を用いて表現することが可能である。しかしながら、期待効用は金銭タームの評価を与えないため、費用便益分析等の代替案評価手法を用いる際には適用できない。従って、事前的評価にあたって期待効用による評価と整合性を持つ金銭タームの評価指標を用いることが望ましい。評価の整合性を判断する基準としては、事後の評価の場所でも述べたように、「符号保存性」及び「順序保存性」が重要である。ここで、事後の評価の場合とは異なり、事前的評価では、代替案を代表的個人の厚生に照らして順序づけることが目的となる。従って、事前的評価の局面においては、「符号保存性」は「プロジェクトの実施にともなう生じる厚生変化の符号と評価指標の符号が一致する性質」であり、「順序保存性」とは「複数のプロジェクトに対する代表的個人の厚生に基づく順序づけと当該評価指標による順序づけが一致するという性質」であると定義できる。以下では、option price 及び期待被害軽減額指標の「符号保存性」「順序保存性」に関して考察する。

(2) Option price の符号保存性と順序保存性

期待効用の変化 $\Delta_0 EU$ 及び option price (OP_e , OP_c) の間には以下の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned}\Delta_0 EU &= E[V(Y + OP_e, Q(x | \xi_0)) - V(Y, Q(x | \xi_0)) | \xi_0] \\ &= E[V(Y, Q(x | \xi_1)) - V(Y - OP_c, Q(x | \xi_1)) | \xi_1] \dots\dots\dots (13)\end{aligned}$$

間接効用関数 $V(Y, Q(x | \xi_i))$ は所得 Y に関して単調非減少関数であるから、上式より、期待効用変化の符号と option price (OP_e , OP_c) の符号が一致することがわかる。従って、option price (OP_e , OP_c) は一般的に符号保存性を有する。

次に順序保存性について考察する。まず、 OP_e に関して議論しよう。2つの政策 ξ_1 及び ξ_2 の効果の比較を行う場合を想定する。式(13)と同様にして、政策 ξ_2 と政策 ξ_1 に対する期待効用の差 $\Delta_2 EU$ は次式のように表される。

$$\begin{aligned}\Delta_2 EU &= E[V(Y, Q(x | \xi_1)) | \xi_1] - E[V(Y, Q(x | \xi_2)) | \xi_2] \\ &= E[V(Y + OP_e^{01}, Q(x | \xi_0)) - V(Y + OP_e^{02}, Q(x | \xi_0)) | \xi_0] \dots\dots\dots (14)\end{aligned}$$

ただし、

$$E[V(Y + OP_e^{0i}, Q(x | \xi_0)) | \xi_0] = E[V(Y, Q(x | \xi_i)) | \xi_i] \quad (i=1, 2) \dots\dots\dots (15)$$

間接効用関数は所得 Y に関して非減少関数であるから、 $\Delta_2 EU$ と $OP_e^{01} - OP_e^{02}$ は同符号である。従って、 OP_e は順序保存性を有する。

次に、 OP_c について考察しよう。現在の政策 ξ_0 を基準とし、政策 ξ_1 を実施した場合と政策 ξ_2 を実施した場合の期待効用の変化をそれぞれ $\Delta_{01} EU$ 及び $\Delta_{02} EU$ とおこう。このとき、 $\Delta_{01} EU$ 及び $\Delta_{02} EU$ はそれぞれ以下のように表せる。

$$\Delta_{01} EU = E[V(Y, Q(x | \xi_1)) - V(Y - OP_c^{01}, Q(x | \xi_1)) | \xi_1] \dots\dots\dots (16)$$

$$\Delta_{02} EU = E[V(Y, Q(x | \xi_2)) - V(Y - OP_c^{02}, Q(x | \xi_2)) | \xi_2] \dots\dots\dots (17)$$

ただし、

$$E[V(Y - OP_c^{0i}, Q(x | \xi_i)) | \xi_i] = E[V(Y, Q(x | \xi_0)) | \xi_0] \quad (i=1, 2) \dots\dots\dots (18)$$

ここで、 OP_c^{01} 及び OP_c^{02} はそれぞれ期待効用の変化 $\Delta_{01} EU$ 及び $\Delta_{02} EU$ に対応した option price である。ここで、 $\Delta_{01} EU = \Delta_{02} EU$ すなわち政策 ξ_1 及び ξ_2 が無差別であるとしよう。このとき、 OP_c が期待効用による順序を正しく反映していれば、 $OP_c^{01} = OP_c^{02}$ でなければならない。ところが、式(16)及び式(17)において $OP_c^{01} = OP_c^{02}$ のとき、 $\Delta_{01} EU = \Delta_{02} EU$ となる保証はない。このことは、 OP_c が一般には順序保存性を有さないことを示している。

(3) 期待支払意思額指標の符号保存性と順序保存性

さて、期待支払意思額指標の変化 $\Delta E[EV]$ 及び $\Delta E[CV]$ についてはどうであろうか。Helms¹¹⁾ は、期待支払意思額指標が一般には符号保存性・順序保存性を有さないことを示している。これは、可測効用関数が正の線形変換を除いて一意であることから容易に理解される。等価変分 EV 及び補償変分 CV は間接効用関数の単調変換であるが、一般には線形変換ではない。正の線形変換であることを補償するためには、間接効用関数が所得に関して1次同次関数である必要がある。しかしながら、このような1次同次性の仮定は、一般に妥当な仮定とは言えない。従って、期待支払意思額指標を保全便益の評価指標として代替案の評価に用いるためには、その評価の整合性に関して個別の計画問題において仮定の妥当性がその都度、吟味されなければならない。

以上の考察から、等価的 option price を除いてはいずれの指標も「符号保存性」「順序保存性」を有さないことがわかった。これに対して、等価的 option price 指標は「符号保存性」「順序保存性」を有し、災害のリスクに対する選好順序を常に保存する。さらに、等価的 option price は渇水リスクの変化に対する最大の支払意思額を与える指標であることから、渇水対策プロジェクトの評価を行う際には最も適切な指標であると考えることができる。

5. 渇水を対象とした事例分析

5.1 分析の枠組み

ここでは、災害として具体的に渇水を取り上げ、事例分析を行う。具体的には、渇水対策プロジェクトの(防災)計画問題を取り上げ、渇水被害の事後的評価や事前的評価の役割を論じる。

以下では、渇水対策プロジェクトの計画問題として、単一の利水用貯留施設の規模拡張問題を取り上げる。すなわち、Fig. 1 に示すように、現在、既設の貯水池があり、一定の水需要 D をまかなっているものとする。この貯水池は、利水のみを目的としており、その容量は v_0 で、無節水型操作ルール r_0 (線形操作ルール¹²⁾) にしたがって操作がなされているとする。

流域内には等質な N 戸の家計が存在しており、水道事業者から給水を受けている。本論文では、水道

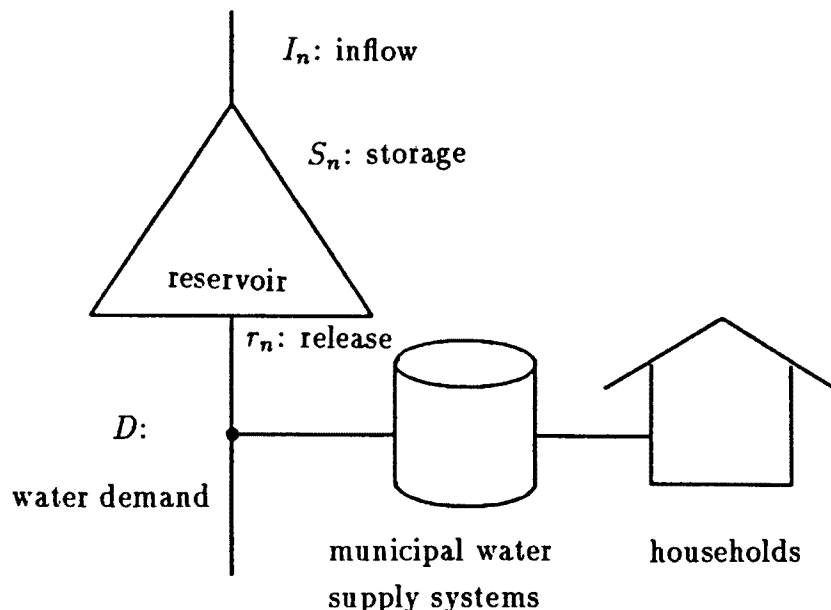


Fig. 1. Assumed River-basin System.

事業体は河川から取水して各家計に給水していると仮定する。河川は上流のダムによって流況調節されており、ダムからの放流量 $r(x; v)$ によって河川の水量が決定されるものとする。ここで水道事業体は河川管理者との契約によって最大 D の水量を取水できるとし、平常時には、水量 D の給水を行っているものとする。渇水時にはダムからの放流量の減少にともない、減圧給水により単位時間の獲得所要時間 Q を変化させ、給水量を $r(< D)$ に減少させるものとする。なお、平常時渇水時を通じて家計の full-income y 、賃金率 w 及び水の価格 p は一定であると仮定する。

この際、家計の水需要 d の集計値 Nd は平常時・渇水時を通じて水道事業体からの供給量に一致する。渇水時と平常時において変化しているのは、単位水量当たりの獲得所要時間 Q のみであり、これが家計の水消費行動を規定する「水使用環境」を構成していると考えられる。今、家計は均質な給水条件におかれていてと仮定すると、水使用環境 Q は流域内のすべての家計で等しくなる。

貯水池のかさ上げ（容量の拡大）を行うとともに操作ルールの改善を計るという計画問題を考える。この際、渇水対策プロジェクトの代替案は、貯水容量 v と操作ルール r の組 (r, v) で与えられる。本章では、以上のような条件のもとで、渇水対策プロジェクトの代替案 (r, v) の設計ならびに経済的評価問題を取り上げる。次いで、渇水被害の事後的評価や事前的評価の手順を示し、その役割を明らかにする。

5.2 事後的評価

2. で述べたように、被害の事後的評価の主たる目的は、災害発生の機構を明確化し、防災計画を立案するための計画情報を得ることにある。従って、事後的評価では、災害によって生じる個人の環境の変化の機構や、環境変化にともなう厚生変化の機構を明らかにすることが重要であると考えられる。すなわち、事後的評価を通じて、間接効用関数 $V(\cdot)$ やシステムの状態と個人の環境の関係を記述する関数 $Q(x|\xi)$ を同定することが不可欠である。事後的評価によってこのような関数の同定が行われれば、被害構造を明らかにすることができる。

ここでは、渇水を対象とした事後的評価の方法に関して考察する。上述したように、事後的評価においては、被害の発生機構の解明が最も重要な目的となる。以下では前章で示したような被害の見方に準拠して渇水による被害の構造の明確化を試みる。被害構造の見方に準拠して渇水による被害の構造の明確化を試みる。被害構造の明確化は、代表的個人の間接効用関数 $V(\cdot)$ やシステムの状態と個人の環境の関係を表す関数 $Q(x|\xi)$ を同定することに他ならない。従って、渇水による被害構造を明確にするためには、これらの関数を渇水の発生メカニズムと関連づけて具体的に表現することが必要である。従って、渇水被害の事後的評価を行う際には、渇水時の水消費行動を分析し、これらの関数を同定することが必要である。

家計は飲料水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、炊事、洗濯、風呂といった家庭内サービスの生産投入要素として水を消費している。水の需要は個人の時間や市場財とともに家庭内サービスを生産・消費するための派生的需要であり、渇水時の家計の厚生水準を規定するものは利用可能な水量や時間の絶対量ではなく、むしろ、消費される家庭内サービスの水準に依存している。

著者らは、以上のような認識のもとで、家計の水消費行動モデルを提案してきている¹³⁾¹⁴⁾。

仮定より、家計は同一の水使用環境 Q の下で、水消費行動を行っている。家計は、水、時間及び市場財を用いて洗濯、風呂、掃除等の家庭内サービスを生産し、生産された家庭内サービスと余暇時間及び水とニューメレールである合成財を消費しているとする。ここで、渇水時には減圧給水が行われるものとし、水使用環境 Q を具体的に単位水量当たりの獲得所要時間として定義しよう。渇水が生じると単位時間当たりの獲得所要時間 Q は増加する。獲得所要時間の増加は、水1単位当たりの取引費用 wQ の増加をもたらし、家庭内サービス1単位当たりの生産コスト $\phi(p + wQ)$ を増大させる。ここで、 p は水1単位当たりの価格、 w は賃金率を表し、 $p + wQ$ は、水1単位当たりの一般化価格を表す。このとき、full-income を Y とすれば家計の間接効用関数は $V(Y, p, w, Q)$ のように表現できる。

さらに、家計の水需要を $d(Y, p, w, Q)$ と定義しよう。このとき、ロワの定理^{例えば、15)}により $d(Y, p, w,$

Q) は次式のように定義される。

$$d(Y, p, w, Q) = - \frac{\partial V(Y, p, w, Q)}{\partial p + wQ} \bigg/ \frac{\partial V(Y, p, w, Q)}{\partial y} \dots\dots\dots (19)$$

流域内には等質な N 戸の家計のみが存在していると仮定しているから、この流域内の集計的水需要量は $Nd(Y, p, w, Q)$ で与えられる。平常時・渇水時を通じて以下のように水の需給が均衡しているものとする¹³⁾。このとき、集計的水需要量は平常時においては最大取水量 D に一致しており、渇水時にはダムからの放流量 $r(x; v)$ に一致する。

$$Nd(Y, p, w, Q) = r(x; v) \quad (r(x; v) < D \text{ のとき；渇水時}) \dots\dots\dots (20)$$

$$Nd(Y, p, w, Q) = D \quad (r(x; v) \geq D \text{ のとき；平常時}) \dots\dots\dots (21)$$

ここで、 $r(x; v)$ は貯水池の操作ルールを表す。 $r(x; v)$ は放流可能量 x (貯水量と流入量の和) に対して放流量を対応づける関数である¹⁶⁾。貯水池からの放流量の変域は放流可能量 x と貯水容量 v によって規定されるから、操作ルール $r(x; v)$ は、貯水容量 v をパラメータとして含む。

式(20) 及び式(21) の解をそれぞれ $q(r(x; v))$, q_0 とおこう。このとき、渇水時の水需給均衡条件式(20) によって定まる水使用環境 $q(r(x; v))$ は操作ルール r 及び貯水量 v に依存する。一方、平常時の水需給均衡条件式(21) によって定まる水使用環境 q_0 は定数であり、その値は操作ルール r 及び貯水容量 v に依存しない。ここで、家計の水需要 $d(Y, p, w, Q)$ は Q の増加に伴って減少するから、渇水時の水使用環境 $q(r)$ は放流量 r に関して減少関数である。いま、貯水容量及び操作ルールの組 (r, v) を所与とし、当該期の放流可能量が x である場合の水使用環境を $Q(x; r, v)$ とおこう。このとき、 $Q(x; r, v)$ は渇水時の水使用環境 $q(r(x; v))$ 、及び、平常時の水使用環境 q_0 を用いて次式のように与えられる。

$$Q(x; r, v) = \begin{cases} q(r(x; v)) & (r(x; v) < D \text{ のとき；渇水時}) \\ q(D) \equiv q_0 & (r(x; v) \geq D \text{ のとき；平常時}) \end{cases} \dots\dots\dots (22)$$

以上のように、家計の水消費行動及び水需給の均衡過程をモデル化すると、渇水被害の構造を規定する家計の間接効用関数 $V(Y, p, w, Q)$ 及び水指標環境と放流可能量 (システムの状態を表す変数) とを対応づける関数 $Q(x | r, v)$ を定式化することができる。

以上のような理論的な枠組みのもとで、渇水被害の事後的評価の手順に関して考察しよう。事後的評価の目的は、渇水被害の発生構造の明確化である。このためには、渇水の発生構造を規定する関数 (V, Q) を具体的に同定することが必要である。そこで、まず、間接効用関数や家庭内サービスの生産関数 (家計生産関数) を具体的に特定化し、渇水の事後的調査に基づいてこれらの関数のパラメータを推定することが必要である。ここで、一般に効用は観測不可能であるから、これらの関数を直接推計することは困難である。しかしながら、家庭内サービスやその生産にあたって投入される水・時間・市場財の需要関数のパラメータを推計すれば、間接的に間接効用関数や家計生産関数を推計することができる。これらの関数のパラメータの推定を行うためには、渇水の事後的調査を行い、家計の水消費行動に関するデータを収集し、これに基づいて推計を行うことが有効であろう。このような推計の結果、間接的に間接効用関数や家計生産関数が同定され、渇水被害の発生構造を規定する関数 (V, Q) を定めることができる。

ここでは、これらの関数は渇水被害の発生機構を表現している。渇水の発生機構の明確化は、渇水対策プロジェクトの計画を立案する際には不可欠である。この意味で、事後的評価は重要な役割を果たすことが確認できる。

また、心理的な被害として取り上げられる渇水時の不満感や不快感は、渇水時に洗濯や風呂等の家庭内サービスの消費水準を減少しなければならないことに起因していることが多い。このような意味からも、渇水による家庭内サービスの消費量の変化を明示的に考慮して渇水被害を計量化していくことが重要となる。このような渇水時の不満感や不快感を反映した被害は、上述の手順に従って同定された関数 (V, Q) から式(3) を用いて算定することができる。

5.3 事前的評価

渇水被害の事前的評価の目的は、渇水対策プロジェクトの代替案の設計・評価を行うための経済的評価指標を算定することにある。以下では、渇水対策プロジェクトによる保全便益の計量化方法を提示しよう。

4. でも述べたように、等価的 option price は渇水プロジェクトの実施に対する支払意志額を与えるとともに、期待効用に対する「符号保存性」「順序保存性」を有する。そこで、以下では、渇水対策プロジェクトの保全便益を等価的 option price を用いて算定する方法¹⁷⁾について述べる。ここで、渇水対策プロジェクトは、貯水容量を v_0 から v へ拡大し、操作ルールを無節水型操作ルール r_0 から保全便益を最大化する最適操作ルール r^* に改善することによってなされたとする。

仮定より、現況の操作ルールとして次式で示すような無節水型の操作ルール $r(x, v)$ を想定する。

$$r_0(x; v) = \begin{cases} x & (x < D \text{ のとき}) \\ D & (D \leq x < v + D \text{ のとき}) \dots\dots\dots (23) \\ x - v & (v + D \leq x \text{ のとき}) \end{cases}$$

一方、整備後の操作ルールとしては、整備後の貯水容量 v の下で、家計の享受便益（等価的 option price）を最大化する操作ルール $r^*(x; v)$ （最適操作ルール）を用いる場合を想定する。このとき、等価的 option price は期待効用に関して「順序保存性」を有するから、最適操作ルール $r^*(x; v)$ は次の期待効用最大化問題の解である。

$$\max_{r(x;v)} E[V(Y, p, w, Q(X; r, v) \mid r, v)] \dots\dots\dots (24)$$

ここで、貯水池への流入量が時間的に独立かつ同一の確率分布 $\theta(\cdot)$ に従うと仮定する。このとき、所与の貯水池操作ルール $r(x; v)$ の下で、放流可量は規約なマルコフ連鎖をなす。当該期の放流可能量を x 、次期の放流可能量を y とすると、放流可能量の推移確率 $P_{xy}^{r(x;v)}$ は次式のように与えられる。

$$P_{xy}^{r(x;v)} = \theta(y - x + r(x; v)) \dots\dots\dots (25)$$

さらに、放流可能量の定常生起確率 $\phi(x \mid r, v)$ は、以下の連立方程式の解として与えられる。

$$\phi(y \mid r, v) = \sum_x \phi(x \mid r, v) P_{xy}^{r(x;v)} \dots\dots\dots (26)$$

$$\sum_x \phi(x \mid r, v) = 1 \dots\dots\dots (27)$$

このとき、問題 (24) はマルコフ決定過程として次式のように変形できるから、最適操作ルール $r^*(x; v)$ を次式の解として求めることができる。

$$u(x) + g = \max_y V(Y, p, w, Q(x; v)) + \sum_y P_{xy}^{r^*} u(y) \dots\dots\dots (28)$$

ここで、 g は次式のように期待効用の最大値を与える。

$$g = E[V(Y, p, w, Q(X; r^*, v) \mid r^*, v)] \dots\dots\dots (29)$$

また、 $u(x)$ は政策の相対値と呼ばれ、 $u(x) - u(y)$ は初期状態において放流可能量が y である場合と x である場合との定常状態における累積期待効用の差を表している。

以上のように、渇水対策プロジェクトの代替案 (r^*, v) を想定すると、等価的 option price OP_e は次式の解として与えられる。

$$\begin{aligned} & \sum_x V(y + OP_e, p, w, Q(x; r_0, v_0)) \phi(x \mid r_0, v_0) \\ & = \sum_x V(Y, p, w, Q(X; r^*, v)) \phi(x \mid r^*, v) \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

ここで、上式の解として与えられる等価的 option price は、現況の施設整備水準 (r_0, v_0) での整備後の水準 (r^*, v) の関数である。そこで、以下、上式の解として与えられる等価的 option price の値を与える関数を $OP_e(r^*, v \mid r_0, v_0)$ と表記する。関数 $OP_e(r^*, v \mid r_0, v_0)$ はその定義からも明らかなよう

に、通常は陽的には求まらないが、上式に現況の施設整備水準 (r_0, v_0) での整備後の水準 (r^*, v) を代入して数値解を求めることにより、間接的にその値を知ることができる。

このとき、代表的家計の当該プロジェクトへの支払意思額を $OP_e(r^*, v | r_0, v_0)$ で評価すれば、当該プロジェクトの実施によって N 戸の家計が享受する便益（保全便益）は $N \cdot OP_e(r^*, v; r_0, v_0)$ として算定される。

以上の渇水対策プロジェクトによる保全便益の算定手順を整理すれば以下のようなものである。すなわち、まず、問題(28) を解いて $r^*(x; v)$ を求める。次いで、式(30) に $r^*(x; v)$ を代入して $OP_e(r^*, v; r_0, v_0)$ を算定する。最後に、これを集計することによって保全便益 $N \cdot OP_e(r^*, v; r_0, v_0)$ が算定される。

5.4 数値計算事例

ここでは、経済的評価の観点から渇水対策プロジェクトの代替案設計を具体的に数値計算を通じて例示し、考察を行う。

(1) 分析ケースの設定

数値計算を行うにあたり、以下のような分析ケースを想定し、5.3で提案した等価的 option price を用いる方法と期待被害軽減額を用いる方法との比較を行い、本論文で提案した方法の特性を分析する。

方法1 整備後の貯水容量 v を所与として、期待効用 FU を最大化する操作ルール r^* を求め、等価的 option price $OP_e(r^*, v | r_0, v_0)$ を用いて家計の享受便益を決定する方法。（本論文で提案する方法）

方法2 整備後の貯水容量 v を所与として、等価変分の期待値 $E[EV(r, v) | r, v]$ を最小化する操作ルール $r_{E[EV]}$ を求め、等価変分の期待値の改善量 $\Delta E[EV]$ を用いて家計の享受便益を算定する方法。

方法3 整備後の貯水容量 v を所与として、補償変分の期待値 $E[CV(r, v) | r, v]$ を最小化する操作ルール $r_{E[CV]}$ を求め、補償変分の期待値の改善量 $\Delta E[CV]$ を用いて家計の享受便益を算定する方法。

(i) 現況の貯水容量は $v_0 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ で、貯水池操作は線形貯水池操作ルール r_0 に従ってなされているものとする。(ii) 貯水容量の上限 $\bar{v}$ は外生的に与えられ、 $\bar{v} = 10 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲での拡張を想定した。(iii) 貯水池への流入量は平均 $10.16 \text{ m}^3/\text{s}$ 、標準偏差 $15.75 \text{ m}^3/\text{s}$ の対数生起分布に従うと仮定した。(iv) さらに、次のようにパラメータ値を設定した。すなわち、流域内の家計の数 $N = 1,000,000$ 戸、水の価格 $p = 110 \text{ 円}/\text{m}^3$ 、貸金率 $w = 2000 \text{ 円}/\text{hr}$ 、市場財の価格 $q = 100 \text{ 円}$ 、full-income $Y = 3800 \text{ 円}/\text{日}$ である。(v) 家計生産関数を CES 型に、家計の効用関数をトランスログ型にそれぞれ特定化¹⁴⁾し、そのパラメータを以下のように設定した。

家計生産関数(CES型)

$$f(d, t, g) = (c_1 d^a + c_2 t^a + c_3 g^a)^{1/a} \dots\dots\dots (31)$$

ただし、 $(c_1, c_2, c_3) = (0.1 \ 0.1 \ 0.1)$ 、 $a = -1.0$ である。

間接効用関数(トランスログ型)

$$V(Y, p, w, Q(x; r, v)) = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^3 \alpha_i \ln \frac{\phi_i(r, v)}{Y} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{ij} \ln \frac{\phi_i(r, v)}{Y} \ln \frac{\phi_j(r, v)}{Y} \right\} \dots\dots (32)$$

ただし、 $(\phi_1(r, v), \phi_2(r, v), \phi_3(r, v)) = (\phi(p + wQ(x; r, v)), w, 1)$ であり、 $\phi(p, w, q, i) = \{c_1 (\frac{p + \tau w}{c_1})^\varepsilon + c_2 (\frac{w}{c_2})^\varepsilon + c_3 (\frac{q_i}{c_3})^\varepsilon\}^{1/\varepsilon}$ である。ここで、 $\varepsilon = a/(a-1)$ とおいた。

この際、式(32) のパラメータ α_i, β_{ij} の値は以下のように設定した。

$$(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (1.0 \ 0.01 \ -0.7)$$

$$\begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.01 & -0.12 & 0.11 \\ -0.12 & 0.01 & 0.13 \\ 0.11 & 0.13 & -0.24 \end{bmatrix}$$

(2) 分析結果

Fig. 2 に設計された操作ルールを示す。この図から、いずれの操作ルールも線形貯水池操作ルールに比べて節水型の操作ルールとなっていることがわかる。また、任意の x 及び v に関して $r_{E[EV]}(x; v) \geq r^*(x; v) \geq r_{E[CV]}(x; v)$ が成り立っており、 $r_{E[EV]}$, r^* , $r_{E[CV]}$ の順に節水の度合いが高い操作ルールとなっていることがわかる。また、貯水容量を拡大しても操作ルールは評価指標毎には異なるが、容量の違いには余り影響されないことがわかる。

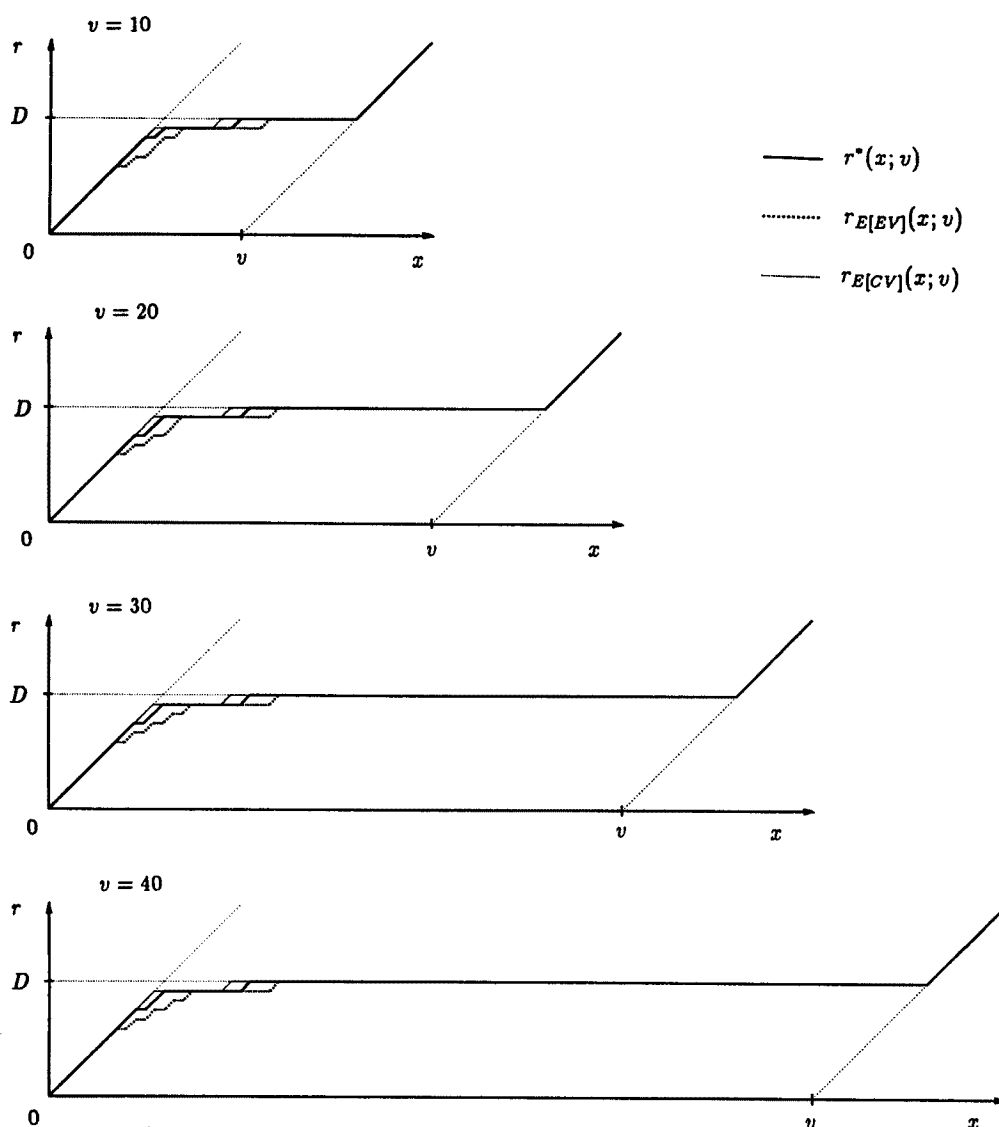


Fig. 2. Optimal Operation Rules vs. Evaluation Criteria, OP_* , $E[EV]$, $E[CV]$.

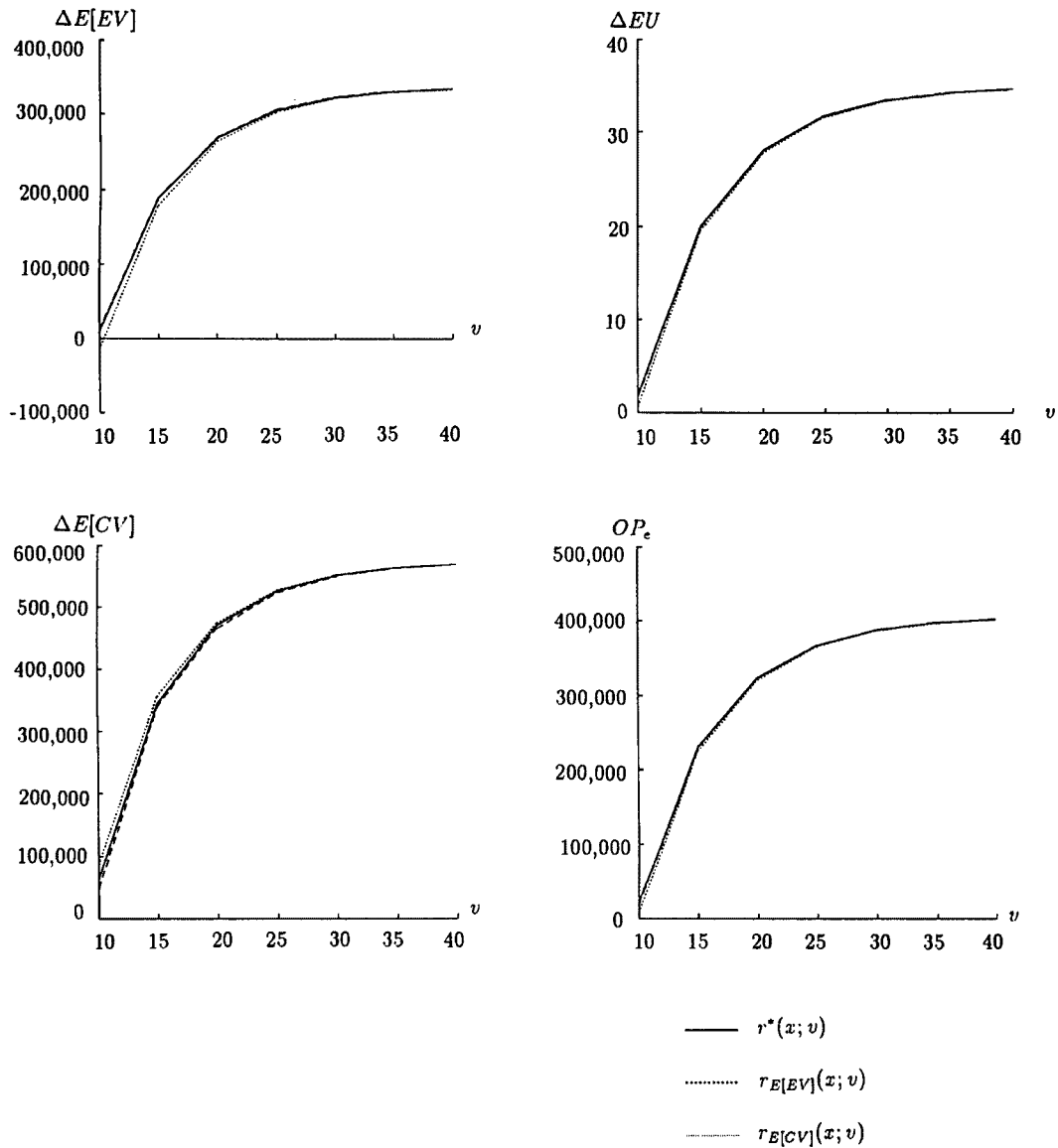


Fig. 3. Values of Objective Functions for Drought Prevention Alternatives.

Fig. 3 に整備にともなう期待効用値の改善量 ΔEU 、等価変分の期待値の改善量 $\Delta E[EV]$ 、補償変分の期待値の改善量 $\Delta E[CV]$ 、及び option price OP_e を求め整理した。当然のことではあるが、それぞれの最適操作ルールに対応する指標の値の改善量が最も大きい。ここで、option price OP_e による評価は、渇水リスクに対する家計の選好を表す期待効用による評価と一致しており、option price 指標 OP_e による評価の整合性、具体的には符号保存性・順位保存性をこの例からも確認することができる。一方、期待効用の改善量による評価と、等価変分の期待値の改善量 $\Delta E[EV]$ 、補償変分の期待値の改善量 $\Delta E[CV]$ による評価は一致していない。このことは、これらの期待支払意志額指標 ($E[EV(r, v) | r, v]$, $E[CV(r, v) | r, v]$) が符号保存性・順位保存性を満たさないことを意味している。従って、操作ルールの改善を含む渇水対策プロジェクトの設計・評価問題に関しては、符号保存性・順位保存性を有する指標は、等価的 option price のみであり、金銭タームでの評価には、option price OP_e を評価指標として用いるこ

とが必要であることがわかる。

6. お わ り に

本論文では、防災計画における被害評価の役割とその具体的な方法に関して考察した。この際、事前及び事後の被害評価の概念と目的を整理し、防災計画の計画プロセスにおける位置づけを示した。次いで、事前及び事後における被害評価の方法を示すとともに、評価の整合性に関して考察した。さらに、「渇水」を対象とした事例を提示し、具体的な被害評価の方法に関して述べるとともに、数値計算事例を通じて本論文で提示した被害の評価方法の有効性を検証した。

2. でも述べたように、本論文で取り扱った計画問題は、災害を引き起こす外力生起確率分布や被害の発生メカニズムが比較的明確であり、防災施策の効果も定量的に取扱い得る場合を想定している。現実には、外力の生起確率や被害発生メカニズム、防災施策の効果を解明することが明確でない場合も多い。このような場合には直ちに本論文で提示した方法を用いることはできない。現実にはこのような状況下においても、防災計画を立案することが必要であるが、この点に関しては今後の課題としたい。

最後に、本論文を行うにあたって鳥取大学工学部 小林潔司教授との議論から多くの知見を得た。ここに付して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) Hufschmidt, M. M., D. E. James, A. D. Meister, B. T. Bower and J. A. Dixon: Environment, Natural Systems, and Development: An Economic Valuation Guide, John Hopkins University Press, 1983.
- 2) Johansson, P.-O.: The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits, Cambridge University Press, 1987.
- 3) Chipman, J. S. and J. C. Moore: Compensating Valuation, Consumer's Surplus, and Welfare, American Economic Review, 70, 1980, pp. 933-949.
- 4) Hause, J. C.: The Theory of Welfare Measurement, Journal of Political Economy, 83, 1975, pp. 1145-1182.
- 5) Just, R. E., D. L. Hueth and A. Schmitz: Applied Welfare Economics and Public Policy, Prentice Hall, 1982.
- 6) Weisbrod, B. A.: Collective Consumption Services of Individual Consumption Goods, Quarterly Journal of Economics, 81, 1967, pp. 351-352.
- 7) Cicchetti, C. J. and A. M. III. Freeman: Option Demand and Consumer Surplus: Further Comment, Quarterly Journal of Economics, 85, 1971, pp. 528-539.
- 8) Graham, D. A.: Cost-Benefit Analysis under Uncertainty, American Economic Review, 71, 1981, pp. 715-725.
- 9) Bishop, R. C.: Option Value: An Exposition and Extension, Land Economics, 58, 1982, pp. 1-15.
- 10) Freeman, A. M. III.: Supply Uncertainty, Option Price and Option Value, Land Economics, 61, 1985, pp. 176-181.
- 11) Helms, J. L.: Expected Consumer Surplus and the Welfare Effects of Price Stabilization, International Economic Review, 26, 1985, pp. 603-617.

- 12) 多々納裕一・岡田憲夫・河合 一：渇水の継続期間を明示的に組み込んだ貯水池運用計画モデル，土木計画学研究論文集，Vol. 9，1991，pp. 173 - 180.
- 13) 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，京都大学防災研究所水資源研究センター報告，Vol. 10，1990，pp. 43 - 59.
- 14) 岡田憲夫・多々納裕一・小林潔司・並河光夫：渇水時の水消費行動のモデル分析，京都大学防災研究所年報，第 34 号 B-2，1991，pp. 127 - 145.
- 15) ハル R. ヴァリアン：ミクロ経済分析，勁草書房，1986.
- 16) 多々納裕一・岡田憲夫・河合 一：残流域流出量を考慮した水利用システムの信頼性評価モデルに関する研究，土木計画学研究論文集，Vol. 7，1990，pp. 209 - 217.
- 17) 多々納裕一：渇水リスクの経済的評価法に関する研究—渇水対策プロジェクトを対象として，土木学会論文集（投稿中），1992.