

【研究論文】

絶滅危惧種「アユモドキ」の経済的価値の分析 —— 京都府亀岡市の事例 ——

内藤 登世一・上 須 道 徳⁽¹⁾

1. はじめに
2. アユモドキとその生息環境及び保全活動
3. 推定モデル(選択型コンジョイント分析)
4. データ(アンケート調査の概要)
5. 推定結果と経済的価値の算出
6. おわりに
参考文献

1. はじめに

アユモドキは、国の天然記念物(1977年)と種の保存法の国内希少野生動物種に指定された日本固有種の淡水魚である。ドジョウの仲間ではあるが、泳いでいる姿がアユに似ていることからその名が付いたとされている。過去には、淀川水系の宇治川、木津川、桂川、鴨川、清滝川、淀川と広い範囲の水田や用水路で見られる身近な生き物であったが、近年では淀川水系の亀岡市、八木町と岡山県の一部の河川でしか見られなくなった。アユモドキは、現在環境省レッドデータブックの「絶滅危惧種 I A類」に、また京都府レッドデータブックでは「絶滅寸前種」に指定されている。

京都府亀岡市では、こうした絶滅危惧種のアユモドキを保全するために、地元市民、自治会、関係団体、有識者、行政が結集して平成21年4月に「亀岡市保津地域アユモドキ保全協議会」が設立された。協議会は、環境

省の生物多様性保全推進支援事業の事業採択を受けて様々なアユモドキの保全活動(調査研究も含む)を行っている。

絶滅が危惧される主な原因は、農業手法の変化(農薬や除草剤の使用)や生息環境の改変(河川の改修や水田の土地改変)で産卵場所の水域が減ってしまったことと、密漁や外来魚の侵入にあるとされている。しかしながら、こうした時代の変化にあっても、保全する方法は存在するはずである。それでもなぜ絶滅が危惧されるまでに固体数が減ってしまったのだろうか。資源経済学では、その理由の一つは人々がアユモドキの価値に気づかないことにあるとされている。一般的に、野生生物は市場で取引されることがないので、その金銭的価値が明らかにならない。そのために、人々はその野生生物の存在を無視しがちになり、積極的に保全するインセンティブを持たないのである。

本研究の目的は、人々の日常生活の中では認識することができないアユモドキの経済的な価値を測定することにある。また同時に、一般的には認識することができない河川の水質、水田の保全、アユモドキの保護活動といった事柄そのものの経済的な価値も測定する。さらに、測定した人々の経済的価値から、全亀岡市民にとっての集計的な経済的価値を算出し、公的資金によってアユモドキの保全活動を推進することの妥当性を確認する。

アユモドキの経済的価値の測定はこれまでも行われたことがある(鬼塚 2011, 田村剛ほか 2012)が、そこではCVM(仮想評価法)の手法によって測定が行われた。しかしながら、CVMはその設問の仕方や内容、あるいはアンケート設計による影響を受けやすく、「バイアス」と呼ばれる問題が発生することが指摘されている。そこで本研究では、バイアスがより少なく、さらに評価対象を属性別に評価できる利点をもつ「コンジョイント分析」を用いてアユモドキの経済的価値の測定を行う。この手法では、住民にアンケート調査を行い、集められたデータを統計的手法によって分析して推定を行う。

次節では、絶滅危惧種であるアユモドキについて解説し、その生息環境

や保全活動についての現状を報告する。第3節では、経済的価値の推定のために使用する選択型コンジョイント分析の背景にある、理論的推定モデルについて説明する。また、第4節ではアンケート調査で得られたデータ及び意識調査結果について概観する。さらに第5節では、推定結果からアユモドキや他の属性の限界支払意思額を明らかにし、同時に全亀岡市民にとってのアユモドキ、河川の水質、保全活動の集計的な経済的価値を算出する。最終節では研究結果についてまとめ、今後の課題を提示する。

2. アユモドキとその生息環境及び保全活動

亀岡市に生息するアユモドキの個体数についての調査は、京都大学大学院・岩田明久教授によって、平成15年(2003年)8月から開始されている。図1は、岩田教授による平成16年(2004年)から平成25年(2013年)までの10年間のアユモドキの親魚の推定個体数の中間値の推移を示している(岩田教授は当歳魚(1歳)と親魚(2歳以上)の個体数の最大値と最小値を推定しているが、図ではそれらのうちの親魚の中間値だけを示している。親魚だけで計算したのは、アユモドキを保全するためには一定の親魚数が必要であるからである)。図から最

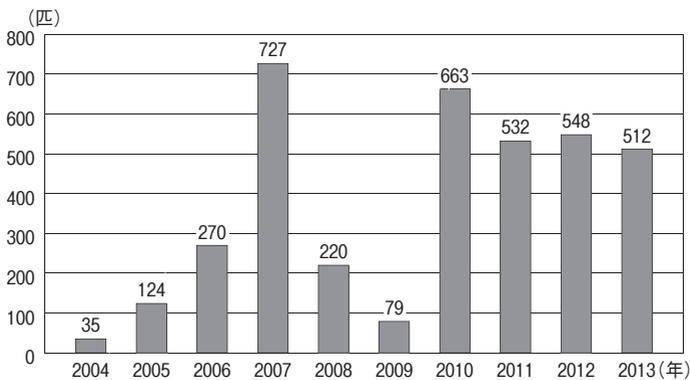


図1 アユモドキの推定個体数の中間値の推移 (2004年～2013年)

近の3年間(2011年以降)では、親魚の中間値が約500匹程度で維持されていることがわかる。

アユモドキの生息環境で最も重要なものは河川の水質である。それでは亀岡市の河川の水質はどのような状況であろうか。河川の水質を表すには一般的にはBOD値という水質指標の値が使用されるが、亀岡市では全河川のBOD値を『亀岡市環境白書』の中で毎年公表している。BODとは、Biochemical Oxygen Demandの略称で(日本語訳は「生物化学的酸素要求量」)、水中の有機物などを酸化分解するために微生物が必要とする酸素量(単位は mg/ℓ)を表し、その値が大きいほどその水質が低下していることを示す。

図2は、1975年から2010年までの亀岡市に存在する全河川のBODの平均値の推移を示している。右肩下がりのグラフは、水質が過去35年間に継続的に改善されてきたことを示している。ここ数年間のBOD値はおおよそ $1.5 \text{ mg}/\ell$ ぐらゐで維持されており、良好な水質状況であるといえる。BOD値 $2 \text{ mg}/\ell$ 以下の河川は、水域類型Aに類別され、水は無色透明かつ無臭で、サケやアユまでが生息できる状況であり、アユモドキにとっては非常に良い生息環境である。

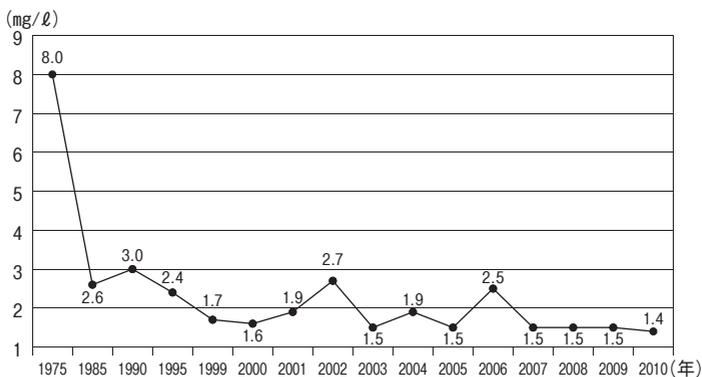


図2 亀岡市の全河川のBODの平均値の推移(1975年~2010年)

また、水田もアユモドキの生息環境として重要なものである。なぜならば、アユモドキは水田や付近の用水路を産卵や成長の場所としているためである。したがって、アユモドキを保全するためには水田を保全することが重要である。現在の亀岡市の総水田面積は18.11 km²であり、これは亀岡市の総面積224.90 km²の約8%にあたる。

次に保全活動の状況であるが、京都府亀岡市におけるアユモドキの保全活動は、「亀岡市保津地域アユモドキ保全協議会」によって行われている。この協議会は、平成21年3月に亀岡市長へ提出された「亀岡市のアユモドキを保全するための提言書」により、同年4月23日に設立された。同協議会は現在、環境省の生物多様性保全推進支援事業の事業採択を受け、アユモドキの保全回復を図るとともに、生息環境の改善に向けた活動を行っている。

同協議会によるおもなアユモドキの保全活動は以下の5つである。

- ① アユモドキの救出活動：ラバーダムの立ち上げによる下流部の渇水、水田の稲作のための中干し、落水による周辺水路の渇水から取り残されたアユモドキの救出
- ② アユモドキの産卵場所整備：アユモドキの産卵場所で、草刈りや樹木の伐採
- ③ 外来魚駆除活動：アユモドキの生息河川や上流部のため池で釣り等による駆除活動(平成23年度活動実績：オオクチバス354匹、ブルーギル624匹を駆除)
- ④ 密漁防止パトロール：「アユモドキ見守り隊」によるパトロール
- ⑤ 普及啓発活動：亀岡市や京都府等が主催する環境イベントにおいて、アユモドキの保全活動のパネル展示等

こうしたアユモドキの保全活動に参加する年間延べ活動人数は、平成24年と平成25年の2年間平均で、年間約150人である。これらの活動員は現在のところボランティアで活動を行っている。

3. 推定モデル(選択型コンジョイント分析)

本研究では、コンジョイント分析の手法を用いて、アユモドキの経済的価値の推定を行う。そこで、本節ではその理論的推定モデルについて説明する。本研究のコンジョイント分析では、複数のプロファイルを回答者に提示して最も好ましいものを選んでもらう選択型(choice experiments)を使用する。この選択型は特に経済学の消費者理論モデルとの整合性が高いという利点があり、環境の経済的価値評価の分野で一般的によく使用されている(Adamowicz *et al.*, 1998; Holmes *et al.*, 1998; Rolfe *et al.*, 2000; 栗山 2002; 坂上・栗山 2009)。

選択型コンジョイント分析の基本的な理論は、ランダム効用モデル(random utility model)がベースになっている。このモデルでは、ある回答者が複数の選択肢の中から一つを選択する選択行動は離散選択(discrete choice)として表現され、選択されるそれぞれの選択肢はランダム効用関数として表される。たとえば、 n 人の回答者の中のある回答者 i が複数の選択肢集合 C (m 個の選択肢をもつ)から一つの選択肢 j を選択する場合、その選択をしたことから得られる効用 U_{ij} は、数式(1)のように2つの部分に分けて表現される。

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

ここで、 V_{ij} は客観的観測が可能な代表的な効用(間接効用関数)の部分であり、 ε_{ij} は個人の特質からくる客観的観察が不可能な確率的な部分(誤差項)である。さらに、間接効用関数 V_{ij} が、各属性変数 x の線形で加法的な関数であると仮定すると、間接効用関数 V_{ij} は、数式(2)のように表現できる(V_{ij} には K 個の属性が含まれるが、この属性については次節で詳説する)。

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_{jki} \quad k=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

ただし、 β は効用を示すパラメータ(係数)である。

ある回答者 i は、ある選択肢 j から得られる効用 U_{ij} が、それ以外の選択肢 h から得られる効用 U_{ih} よりも大きい場合 ($U_{ij} > U_{ih}$ $j \neq h$)、選択肢 j を選択する。ただ、それらの効用の中には確率的な部分が含まれているので、ある回答者が選択肢 j を選択する事象は、確率としてしか表現することができない。その確率 P_{ij} は数式(3)のように表現される。

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \text{Prob}(U_{ij} > U_{ih}, \forall h \in C) \\ &= \text{Prob}(V_{ij} + \varepsilon_{ij} > V_{ih} + \varepsilon_{ih}, \forall h \in C) \end{aligned} \quad (3)$$

ランダム効用モデルを基礎としている選択型コンジョイント分析では、条件付きロジットモデル(conditional logit model)が使用される。ただし、このモデルは、誤差項 ε に第1種極値分布として独立で同一の分布(iid; independently identically distributed)を仮定することによって、数式(4)のようなシンプルな閉形式(closed-form)で表現することができる。⁽³⁾(McFadden, 1974; Greene, 2011)

$$P_{ij} = \frac{\exp(\theta V_{ij})}{\sum_{j=1}^m \exp(\theta V_{ij})} \quad (4)$$

ただし、ここでの θ はスケールパラメータで、一般的には1に基準化される。

この条件付きロジットモデルに含まれているパラメータ β は、最尤推定法(maximum likelihood estimation)によって推定される。⁽⁴⁾推定には、対数尤度関数 L (log likelihood function)が使用されるが、それは数式(5)のように表現される。

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (5)$$

ここで、 δ_{ij} はダミー変数で、選択肢 j を選択した場合には1、それ以外の選択をした場合には0となる。最尤推定法では、対数尤度関数 L が最大

値をとるような効用パラメータ β が推定される。

さらに、ランダム効用理論に基づく条件付きロジットモデルでは、経済学理論に裏づけられた支払意思額(WTP: Willingness to pay)は、数式(6)のように表現される(Louviere *et al.*, 2000 pp.337-341)。

$$WTP \cong CS = \gamma^{-1} \left[\ln \left(\sum_{j=1}^m \exp V_j^0 \right) - \ln \left(\sum_{j=1}^m \exp V_j^1 \right) \right] \quad (6)$$

ただし、CSは補償余剰(compensation surplus)であり、 γ は所得の限界効用である。また、 V_j^0 は環境の変化前、 V_j^1 は環境の変化後の状態を示す間接効用関数である。なお、補償余剰CSは、支払意思額WTPとほぼ等しいものと解釈される。

本研究では属性のそれぞれに対して限界支払意思額を測定する。そこで、客観的観測が可能な間接効用関数Vを全微分すると数式(7)のようになる(ここでは V_{ij} から ij を削除してシンプルにVと簡略化している)。

$$dV = \sum_{k=1}^{K-1} \frac{\partial V}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial V}{\partial x_p} dx_p \quad k=1, 2, \dots, K-1 \quad (7)$$

ただし、 x_p は金銭的負担額に関する属性変数であり、 x_k はそれ以外のK-1個の属性変数である。

さらに、数式(7)において、効用水準を固定し($dV=0$)、限界支払意思額を測定するターゲットの属性変数K以外の属性変数を固定する($dx_k=0 \ k \neq K$)。つまり、数式(7)のdVと dx_k に0を代入すれば、ターゲットとする属性変数 x_K の限界支払意思額MWTP(属性変数が1単位変化することに対する補償変分)を求めるシンプルな数式(8)を導くことができる。

$$MWTP \cong CV = \frac{dp}{dx_k} = - \frac{\partial V}{\partial x_k} \bigg/ \frac{\partial V}{\partial x_p} = - \frac{\beta_K}{\beta_p} \quad k=1, 2, \dots, K-1 \quad (8)$$

ただし、 β_p は金銭的負担額に関するパラメータ(所得の限界効用あるいは支払意思額)であり、 β_K はターゲットとする属性変数 x_K の限界支払意思額である。第5節では、この数式(8)を使用して、アユモドキヤ他の属性の経済的価値として限界支払意思額を算出する。

4. データ(アンケート調査の概要)

選択型コンジョイント分析では、アンケート調査によってデータを収集する。アンケートでは、回答者に対して複数の選択肢を示す。この選択肢はプロファイルと呼ばれるが、それは選択肢を構成する特徴である「属性」と、その属性の状況を表す「水準」の組み合わせとして表現される。本研究では、5つの属性と4つの水準を採用した。表1はそれらの属性と水準の一覧である。

属性として、「アユモドキの個体数」、「河川の水質」、「水田の保全」、

表1 属性と水準一覧

属 性	水 準
アユモドキの個体数(親魚数(匹))	500匹(現状)
	250匹(50%減少)
	750匹(50%増加)
	1,000匹(100%増加)
河川の水質(平均BOD値(mg/ℓ))	1.4 mg/ℓ(現状)
	1.6 mg/ℓ(15%悪化)
	1.2 mg/ℓ(15%改善)
	1.0 mg/ℓ(30%改善)
水田の保全(自然保護区割合(%))	0%保全(現状)
	5%保全
	10%保全
	20%保全
保全活動人数(年間延べ人数(人))	150人(現状)
	75人(50%減員)
	200人(50%増員)
	300人(100%増員)
追加税負担額(円)	0円(現状)
	500円
	1,500円
	3,000円

「保全活動人数」、「追加税負担額」の5つを設定した。アユモドキの個体数は、親魚だけを対象にした。なぜならば、第2節で述べたように、アユモドキの保全には一定量の親魚数が必要だからである。第2節の図1では、最近の3年間(2011年以降)の親魚の中間値が500匹程度で維持されていることが示されている。そこで親魚の現状を500匹と設定した。

次に、河川の水質を属性に設定したのは、アユモドキの保全には河川の水質が重要だからである。河川の水質の水準は、亀岡市を流れる全河川の年間平均BOD値(mg/l)で表した(現状は1.4 mg/l)。また、アユモドキの保全にはその生息地である水田の保全も必要不可欠である。そこで水田の保全も属性として設定したが、その水準は亀岡市の全水田面積に占める自然保護区指定の水田面積の割合で表した(現状は0%)。

さらに、アユモドキの保全には、保全活動人数が大きく影響する。したがって、年間の保全活動延べ人数を水準とした。平成24年及び平成25年の2年間の保全活動延べ人数の平均は約150人であったため、現状を150人とした。最後に、追加税負担額(円)の属性であるが、この税負担は1回限りのもので、回答者が亀岡市に支払うものである。水準は現状の0円、500円、1,500円、3,000円とした。

5つの属性と4つの水準を組み合わせてできるプロファイルは、1,024個($4^5=1024$)も存在する。そこで直列配列法を用いてプロファイルを16個にまで絞った。次に回答者に提示する選択セットの作成であるが、本研究の選択セットは、2つのプロファイル(政策Aと政策B)と1つの現状を示すプロファイルの合計3つのプロファイルから1つを選択する形式に設定した。この質問を8回行うので、合計8組の選択セットが必要である。

8組の選択セットの作成では、まず上記16個のプロファイルから2つの支配的プロファイル(回答者全員が選択してしまうような、非常に強力なプロファイル)と現状プロファイルを除いた。その上で、残りの13個のプロファイルから2個ずつを無作為に選んで6組の選択セットを作成した。また、残りの2組の選択セットについては、上記13個の中で最後に残った1つの

表2 選択セット(設問)の例

設問1	政策A	政策B	現状
アユモドキの 個体数	250匹 (50%減少)	1,000匹 (2倍に増加)	500匹
河川の水質	1.6mg/ℓ (15%悪化)	1.0mg/ℓ (30%改善)	1.4mg/ℓ
水田の保全	5%保全	20%保全	0%保全
保全活動人数	75人 (50%減員)	300人 (100%増員)	150人
追加税負担額	3,000円	500円	0円

(□に✓を入れてください)

プロフィールと、もう一度13個のプロファイルの中から無作為に3個のプロファイルを選ぶことによって作成した。なお、8組の選択セットのすべてに、現状プロフィールを加えて選択肢を三択にして完成させた。選択セットの一例を表2に示す。

この選択セットの例では、政策Aを実施すると、アユモドキの個体数は250匹に減少し、河川の水質は15%悪化する。また水田の保全は5%に設定され、保全活動人数は75人に半減し、さらに追加税負担として3,000円が徴収される。一方、政策Bを実施すると、アユモドキは1,000匹に倍増し、水質は30%改善する。また水田は20%保全され、活動人数は300人に倍増し、さらに500円の追加税が徴収される。現状はそれぞれ、個体数が500匹、水質が1.4 mg/ℓ、水田の保全は0%(保全なし)、保全活動に150人、追加税は0円(無税)である。

回答者はこれら3つの政策(政策A、政策B、政策なし(現状))を比較し、最も好ましいと思う政策を選択する。しかも、属性と水準の組み合わせが異なる8問の選択セットのすべてに回答するしくみである。その際、回答者がすべての質問内容を理解できるように、アユモドキ、生物多様性、5つの属性についての説明パネルを作成して、それらを回答の前に読むこと

で、知識や情報の有無によって回答に支障が出ないように配慮した。

回答者として1,000人の市民を、亀岡市の電子電話帳(13,998人を含む)からパソコンを使用して無作為に選んだ。それらの回答者に、挨拶文、アンケートへの回答の手順、7つの説明パネル、8つの選択セットからなる質問表1(全8問)、回答者自身の情報を調査する質問表2(全21問)、返信用封筒を同封して送付した。

なお、7つの説明パネルは、以下の7つのテーマについて説明を行っている。

- ① アユモドキについて
- ② 生物多様性について — なぜ生物多様性を守らなければならないのか
- ③ アユモドキの個体数について
- ④ 河川の水質について
- ⑤ 水田の保全について
- ⑥ 保全活動について
- ⑦ 追加税負担について

1,000人の回答者からは、212通の返信があったが、このうち二重選択や記入漏れ等を除くと有効回答数は163(通)となった。したがって、有効回答率は16.3%である。回答者163名の年齢層は非常に高く、60歳代が34.4%と70歳以上が41.1%で、還暦を過ぎた人の割合が全体の75.5%であった。また、性別は91.4%が男性で、職業については無職の人が44.2%を占めた。さらに、25年以上を亀岡市で暮らしている人が86.5%を占め、農地保有者は全体の27.6%であった。

アユモドキについては、76.7%の人が認知しており、増やすことに肯定的な人は68.8%であった。アユモドキ保全活動の存在については、66.9%の人が認知しており、その活動人数を増やすことに肯定的な人は54.6%であった(現状でよいと思う人は34.4%)。そうした活動に参加したいと思う人は7.4%と非常に低い一方、行政が進めるべきと思う人は72.4%

を占めた。

また、亀岡の自然の大切さを実感している人は89.9%であり、河川の水質をきれいにしたいと思う人は93.8%にもものぼる。水質を良くするために農薬や化学肥料の使用を規制すべきと思う人は73.6%もあった。また、水田を保全することに肯定的な人は82.8%を占めたが、そのために自然保護区にすることに肯定的な人となると、55.3%とやや減少した(自然保護区を必要としない人は27.6%と意外に多い)。

さらに、河川や水田の生態系を重要だと思う人は91.4%とかなり高い一方で、都市開発を進めることに肯定的な人は50.9%と結構多く存在した(開発を必要だと思わない人は42.3%)。最後に、アユモドキを保護する市の条例を制定すべきと思う人は63.2%であった。

5. 推定結果と経済的価値の算出

表3は、選択型コンジョイント分析の条件付きロジットモデルを最尤法によって推定した結果である。サンプル数は3,912であった。各回答者の

表3 最尤法による推定結果

属性変数(x_K)	係数(β_K)	z 得点	p 値 ($> z $)
アユモドキの個体数	0.003	10.20***	0.000***
河川の水質	-2.124	- 9.00***	0.000***
水田の保全	-7.294	-11.29***	0.000***
保全活動人数	0.007	10.39***	0.000***
追加税負担額	-0.001	-11.23***	0.000***

サンプル数=3912
 $LR\chi^2=358.56$
 p 値 ($>\chi^2$) = 0.0000
 $LL=-2284.6528$

z 得点 = β / ASE (ASE = 漸近標準誤差 (asymptotic standard error))
 記号「***」は、1%水準での統計的有意性を表す。

質問表には合計24個のプロファイルが含まれている(8問の質問にそれぞれ3つのプロファイルが含まれるため)。したがって、163人の質問表の中にあるプロファイルの合計は3,912となり、これがサンプル数となる。尤度比検定統計量(LR χ^2)は358.56であることから、 p 値(> χ^2)が0.0000となり、5つの係数がすべて0であるという棄無仮説は1%水準で棄却された。このことからモデルの説明力はかなり高いといえる。

5つの属性「アユモドキの個体数」、「河川の水質」、「水田の保全」、「保全活動人数」、「追加税負担額」の係数の推定値のすべてにおいて、 z 得点(及び p 値)が1%水準で有意となった。このことはすべての属性変数が回答者の選択行動をうまく説明していることを示している。また、追加税負担額の係数の符号が負となり、税金が上昇すると人々の効用が低下するという一般常識(経済理論)と一致している。

アユモドキの個体数と保全活動人数の係数の符号は正となった。人々はアユモドキや保全活動人数が増えると効用が高まることを示している。このことは意識調査の中で、「アユモドキを増やすべき」あるいは「保全活動人数を増やすべき」と回答した人が、それぞれ68.8%と54.6%(全体の半数以上)であったことと符合する。河川の水質の係数は負となったが、これは河川の水質を示すBOD値が小さいほど水質が高くなるからで、言い換えれば、人々は河川の水質が高くなると効用を上昇させることになる。したがって、この点も意識調査の中で、「水質を改善すべき」と回答した人が93.8%であったことと一致している。

一方、水田保全の係数の符号は負となり、意識調査の結果と矛盾する。つまり、水田を自然保護区とすることに対して人々の効用は低下することが示された。しかしながら、意識調査では、「積極的に保全すべき」が17.9%と「保全することが好ましい」が64.3%で、保全に対して肯定的な人が82.2%を占めた。また、水田を自然保護区にすべきかという質問に対しては、「積極的に自然保護区にすべき」が11.7%と「自然保護区にすることが好ましい」が43.6%で、合計55.3%が自然保護区に肯定的で

表4 各属性の限界支払意思額

属 性	限界支払意思額
アユモドキ(1匹)	4.95円
河川の水質(BOD値1mg/ℓの水質改善)	3370.32円
水田の保全(自然保護区1%の設定)	-115.77円
保全活動人数(1人)	11.63円

あった。この矛盾が生じた理由としては、35.6%もの回答者が自然保護区の設定に否定的であったことが影響した可能性が考えられる。

次に、表3の属性変数の係数の推定値を使用して各属性の限界支払意思額を算出した。これらは、第3節の数式(8)を用いると簡単に計算ができる。表4は各属性の限界支払意思額を示している。アユモドキの個体数の限界支払意思額は、4.95(円/匹)になったが、これは人々がアユモドキを1匹増やすためには4.95円の代価を支払ってもよいと思っていることを示している。また、河川の水質に対する支払意思額は-3370.32(円/mg/ℓ)となったが、このことは人々がBOD値を1mg/ℓ下げる(水質を良くする)ことに、3370.32円支払ってもよいと考えていることを表している。さらに、保全活動人数の限界支払意思額の11.63(円/人)は、活動人数を一人増やすには11.63円を支払ってもよいと思っていることを示している。ただし、水田の保全(自然保護区)に対しては支払の意思は示されず、むしろ115.77円を受け取るなら自然保護区を1%増やしてもよいと思っていることを示している。

最後に、算出された表4の限界支払意思額に基づいて、全亀岡市民にとってのアユモドキの集計的な経済的価値を算出した。回答者は各世帯の代表者として電子電話帳から無作為に選ばれた人々なので、彼らは亀岡市民の代表者でありかつ各世帯の代表者であると仮定した。したがって、求められた限界支払意思額に、亀岡市の総世帯数37,852世帯(2014年4月1日現在)分を掛け合わせて、全亀岡市民にとっての属性に対する集計的な経済的価値を計算した。表5は、各属性の全亀岡市民にとっての集計的な経済

表5 各属性の集計的な経済的価値（全亀岡市民）

属 性	集計的な経済的価値額
アユモドキ(500匹)	9,368万円
河川の水質(BOD値1mg/lの水質改善)	12,757万円
水田の保全(自然保護区1%の設定)	0円
保全活動人数(150人)	6,603万円

亀岡市の総世帯数：37,852世帯(2014年4月1日現在)

的価値を示している。

アユモドキ1匹に対する各世帯代表の支払意思額(経済的価値)は4.95円で、アユモドキの保全のためには500匹が最低必要であることから、アユモドキ500匹分の経済的価値を計算すると、4.95円に500を掛けて2,475円となる。ここでの500(匹)という数値は、京都大学大学院の岩田明久教授による、「アユモドキが遺伝的に悪い状態にならないためには親魚数は最低500匹が必要」(岩田 2011)との指摘に基づいている。さらに、この額に亀岡市の総世帯数37,852世帯(2014年4月1日現在)分を掛け合わせて、全亀岡市民にとってのアユモドキの集計的な経済的価値を算出すると、9,368万円となった。

CVM分析を用いた先行研究(鬼塚, 2011)では、アユモドキの一世帯当たりの経済的価値は1,800円となり、亀岡市の総世帯数36,682世帯(2010年)分の合計は6,600万円と計算されていた。したがって、先行研究に比較すると本研究の選択型コンジョイント分析による結果はやや高めになっている。ただし、本研究で算出した経済的価値は500匹分であり、保全目標個体数が2倍に上昇すれば経済的価値も2倍に上昇することになる。本研究ではこの点、つまり経済的価値がアユモドキの保全目標個体数に基づいて計算できるところに利点がある。

同様に、河川の水質についての全亀岡市民の集計的な経済的価値を計算すると、BOD値が1mg/l上昇するような水質改善に1億2,757万円の経済的価値があることが示された。また、保全活動については、最近の年平均

均延べ活動人数が150人であることから、世帯代表者の活動員一人当たりの経済的価値11.63円に150人分を掛け合わせた。その数値に全世帯数を掛け合わせて、全亀岡市民の集計的な経済的価値は6,603万円となった。なお、本研究では水田の保全として設定される自然保護区の設定には、経済的価値が見出されないという結果になった(0円)。

6. おわりに

本研究では、選択型コンジョイント分析を用いて、アユモドキの経済的価値を測定した。アユモドキ1匹当たりの経済的価値は4.95円となり、したがって全亀岡市民にとっての集計的なアユモドキの経済的価値は9,368万円と計算された。これは500匹のアユモドキを保全する場合の経済的価値なので、アユモドキの保全目標個体数が増えればその集計的な経済的価値も増えることになる。

さらに、アユモドキ以外の属性である河川の水質や保全活動についても、その経済的価値を算出することができた。河川の水質をBOD値で1mg/l上昇させるような水質改善についての経済的価値は3,370.32円となった。これを亀岡市民全体で考えると、総世帯数を掛け合わせた集計的な経済的価値は1億2,757万円と算出された。また、アユモドキの保全活動は、活動人員1人当たりの経済的価値が11.63円となり、全亀岡市民にとってのアユモドキの保全活動についての集計的な経済的価値は6,603万円と計算された。これも現在の延べ150人の活動人数の場合であり、活動人数を増やすと集計的な経済的価値も増えることになる。

市場で取引されないアユモドキ、河川の水質、保全活動について経済的価値を明らかにすることで、亀岡市民にアユモドキを保全しようとするインセンティブが生まれると考えられる。500匹のアユモドキに約1億円弱の経済的価値があるので、当然ある程度の費用をかけて保全することは合理的である。したがって、本研究で明らかになったアユモドキの経済的価値

値は、公的資金によってアユモドキの保全活動を推進することの妥当性に一つの根拠を与えるものとなる。本研究が今後のアユモドキの保全に貢献することができれば幸甚である。

最後に、本研究に残された今後さらに検討すべきいくつかの課題を提示したい。第一に、今回のアンケート調査における回答者の偏りの問題である。回答者の年齢層は、60歳代が34.4%と70歳以上が41.1%で、還暦を過ぎた人の割合が全体の75.5%をも占めた。また、91.4%が男性、44.2%が無職、25年以上を亀岡市で暮らしている人が86.5%と、かなりの偏りがあった。これは電話帳を使用したことがその大きな理由である。ただし、電話帳を使用したのは、全亀岡市民の経済的価値を小サンプルから測定するためには亀岡市全域から無作為にサンプルを抽出する必要があるという統計的理由からである。各年齢層から均等に、また住居期間の短い住民や女性からももっと多くの回答者を得る何らかの方法を検討する必要がある。

第二に、水田の保全についての限界支払意思額が負の値となり、その経済的価値を算出することができなかった問題がある。これは、水田の保全の属性を表現するために、自然保護区の設定を使用したことが理由だと考えられる(自然保護区は土地所有者に大きな制約を与えてしまう)。回答者の35.6%が自然保護区の設定には否定的であった。水田の保全の経済的価値を測定するためには、自然保護区ではなく大半の回答者が賛同するような水田の保全政策としての属性を検討する必要がある。

第三に、本研究の選択型コンジョイント分析で使用した条件付きロジットモデルでは、誤差項の分布に無関係な選択肢からの独立性(IIA)の条件が仮定されているという問題がある。これは、たとえば2つの選択肢 j と k の選択確率オッズ比 P_j/P_k が、それ以外の無関係な選択肢 h の選択確率とは独立しているという特性である。つまり、この仮定では回答者の選好が同質的であるということの意味している。しかしながら、人の価値観はそれぞれ異なっているのでこの仮定は非現実的である。したがって、この仮定を設定しないモデルとして、たとえばネスティッドロジットモデル、

不均一分散ロジットモデル，ランダムパラメータロジットモデル，潜在クラスロジットモデルなどの使用を検討する必要がある(坂上・栗山 2009)。これらの課題については今後の研究で検討する。

注

(1) 内藤登世一は京都学園大学人文学部教授。上須道徳は大阪大学環境イノベーションセンター特任准教授。本研究は，京都学園大学と亀岡市との共同研究として，亀岡市より平成26年度の研究助成を受けた。ここに心より感謝申し上げる次第である。

(2) 第1種極値分布はGumbel分布とも呼ばれ，次の数式で示される。

$$F(\varepsilon_{ij}) = \exp(-e^{-\varepsilon_{ij}})$$

(3) 本稿では，条件付きロジットモデル(conditional logit model)の導出は省略するが，詳細な導出については Louviere *et. al.* 2000 pp.44-51 を参照されたい。なお条件付きロジットモデルと類似したモデルに「マルチノミナル・ロジットモデル(multinomial logit model)」がある。これらのモデルは類似しているが厳密的には差異がある。前者のモデルでは選択確率の決定要因は選択特性(属性)だけであるのに対し，後者では選択確率が選択特性だけではなく個人の特質にも依存する。(Maddala, 1983 p.42)

(4) 条件付きロジットモデルの誤差項に仮定された独立で同一の分布(iid)を仮定することから，「無関係な選択肢からの独立性(IIA: independent from irrelevant alternatives)」として知られる IIA 特性を仮定することになる。

参考文献

- Adamowicz, W., P. Boxall, M. Williams, and J. Louviere (1998) "Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol.80, pp.64-75.
- Greene, W. H. (2011) *Econometric Analysis*, Pearson Education; International ed. 7th ed. pp.719-724.
- Holmes, T., K. Alger, C. Zinkhan, and E. Mercer (1998) "The Effect of Response Time on Conjoint Analysis Estimates of Rainforest Protection Values," *Journal of Forest Economics*, Vol.4 (1), pp.7-28.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A. and Joffre, D. Swait (2000) *Stated Choice Methods Analysis and Application*, Cambridge: Cambridge University Press, pp.44-51.
- Maddala, G. S. (1983) *Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge, England: Cambridge University Press, p.42.

- McFadden, D., (1974) "Conditional logit analysis of qualitative choice behavior," in Zarembka, P. (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, New York.
- Rolfe, John, J. Bennett, and J. Louviere (2000) "Choice modelling and its potential application to tropical rainforest preservation," *Ecological Economics*, Vol. 35, pp.289-302.
- 岩田明久(2011)「アユモドキの調査研究に関わって かめおかの環境のシンボルアユモドキを守ろう！」『亀岡市保津地域アユモドキ保全協議会会報』.
- 鬼塚知(2011)「農業と生物多様性の共栄に関する研究—CVMによるアユモドキの外部経済効果の測定を実例として」京都府立大学農学部 農業経営学研究室 卒業論文.
- 栗山浩一(2002)「地域住民にとっての熱帯林価値」『TROPICS』 Vol.11(4) pp. 207-212.
- 坂上雅治・栗山浩一編著(2009)『エコシステムサービスの環境価値—経済価値の試み—』晃洋書房.
- 田村剛・鬼塚知・桂明宏・浦出俊和(2012)「身近な自然資源に対する住民の評価構造と保全のあり方—京都府亀岡市のアユモドキを事例として—」『農林業問題研究』第186号 pp.176-181.