

仮想評価法とファジィ構造モデルを用いた 三島川之江港エコ防波堤の事業評価

Economic Evaluation of the Ecological Breakwater at Mishima-Kawanoe Port by CVM and FSM Method

上月康則¹・水口裕之²・伊福 誠³・山中亮一⁴・真田純子⁵
久本忠則⁶・六車晋助⁷・斎藤浩行⁸・岩村俊平⁹

Yasunori KOZUKI, Hiroyuki MIZUGUCHI, Makoto IFUKU, Ryoichi YAMANAKA, Jyunko SANADA
Tadanori HISAMOTO, Shinsuke MUGURUMA, Hiroyuki SAITO and Shunpei IWAMURA

The ecological breakwater constructed at Mishima-Kawanoe Port in Ehime Prefecture in 2005. This study presents results of questionnaire surveys using Contingent Valuation Method (CVM) and Fuzzy Structural Modeling (FSM) method relevant to Willingness to pay (WTP) of Eco-breakwater. The structure of the various effects of Eco-breakwater is established by FSM method, which is an equation of calculating the total WTP of various effects by eliminating double counts. The B/C ratio is calculated as more than 7.0 by using CVM and FSM method, showing social significance on installation of Eco-breakwater.

1. 緒論

著者らは、港湾等の直立構造物の本来機能を妨げずに生物生息場を付帯できる技術を開発し、2005年12月には、内部に234m²の人工浅場を付帯するケーソン10函、100mの“エコ防波堤”を製紙業が盛んな愛媛県四国中央市の三島川之江港で事業化した。その後、モニタリング調査を継続しており、これまでに環境配慮効果の評価基準のいくつかが達成されたことを確認した(上月ら, 2008)。今後、さらに本技術を広く活用していくためには、費用対効果分析を行い、社会的な意義を示す必要がある。

生態系のような非市場価値の費用対効果分析の手法としては、簡便性などの観点から、現在も仮想評価法: Contingent Valuation Method (以下, CVM) が主流である。しかし、CVMに対しては、調査方法や計測精度等においてさまざまな指摘がある(例えば、黄川田・中辻, 2000)。そのため、国土交通省の指針(国土交通省, 2009)では、

CVMの使用に際しての留意点を示すとともに、「費用対効果分析の結果だけでなく多様な視点で慎重に事業評価を行うこと」としている。

CVMでは、生態系の有する多種の機能に対する一括した支払意思額: Willingness to pay (以下, WTP) が算出されるという問題点に対して、近年、WTPに対する各機能の重みづけが求められるコンジョイント分析が注目されている(例えば、鈴木・滝川, 2006)。しかし、環境の機能は有機的に関係し合っているために、列挙した機能によっては順位付けが難しく、同手法では重みづけの信頼性の確保が困難な場合がある。

そこで著者らは、人が感じる機能間のあいまいな因果関係を構造化するファジィ構造モデル: Fuzzy Structural Modeling法(以下, FSM法)に着目した。

本研究では、三島川之江港のエコ防波堤に対する事後の事業評価のために、①CVMによるエコ防波堤の環境配慮効果へのWTPの算出、②FSM法でエコ防波堤の効果別WTPを求めて住民ニーズを定量把握し、総WTPを求めた。特に、評価結果の信頼性を高めるため、CVMとFSM法の両手法で本事業の費用対効果分析を試みた。

2. 構造モデルの作成および支払意思額の算定

(1) エコ防波堤の評価情報の作成

FSM法とCVMのアンケートに添付する評価情報の信頼性を確保する(上月ら, 2001)ため、事前に事業の評価項目と目標を設定し、2006年2月から2009年2月にかけて事後調査を行った。その結果、「指標生物のマナマコ、マダコ、エビ・カニ類、魚類等が自然加入し、定着

1 正会員	博(工)	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授
2 フェロー	工博	元徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授
3 正会員	工博	愛媛大学大学院理工学研究科教授
4 正会員	博(工)	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部講師
5 正会員	博(工)	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部助教
6		国土交通省四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所
7 正会員		国土交通省四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所
8	工修	(株)エコ環境・計画部
9 正会員	修(工)	(株)エコ環境・計画部

すること」の目標が達成された。そこで、単位延長当たりの生物目視観察と定量採取結果を、可能な限りエコ防波堤100m当たりの生物生息量に換算して、表-1に示す定量的・具体的な5つの環境配慮効果の項目を設定した。さらに、表-2のシナリオでエコ防波堤の評価情報を作成した。評価情報には、指針(国土交通省, 2009)の留意点を踏まえ、事実に基づいた事業効果を提示した。また、専門用語を使用せず、現場の写真や生物の地方名用いるなど、分かりやすさに配慮した。なお、本研究ではエコ防波堤の環境配慮効果のみの費用対効果分析を行うため、静穏度向上などの通常の防波堤の効果は提示していない。

表-1 エコ防波堤100mの環境配慮効果

環境配慮効果の項目	エコ防波堤100mの定量的・具体的効果
1 にごりや泥を食べる生物が増えました	マナマコが600~900個体生息
2 人が食べる魚介類が増えました	ニシ貝(アカニシ)、マダコがそれぞれ30~60個体生息
3 釣る魚類が増えました	ホゴ(カサゴ)が90個体、メバルが1,500個体生息
4 防波堤にとまる鳥が増えました	カモメ類, サギ類などが増加
5 親しみのわく生物が増えました	エビ類が少なくとも3,000個体以上生息

表-2 評価情報のシナリオ

説明	シナリオ (一部抜粋)
現状	防波堤は、港湾の中をおだやかにし、大きな波から私たちの家や船を守るなどの役目があります。日本では、輸出入貨物の99.7%が港湾を通してきています。このことから、防波堤は私たちのくらしを支える大切なものということが分かります。しかし、普通の防波堤はまっすぐな壁の様な形をしているので、にごりや泥を食べる生物があまり住んでおらず、にごりや泥がたまりやすくなっているのです。
エコ防波堤	波を防ぐ役目と生物の住みかの役目が一緒になった【エコ防波堤】を発明しました。エコ防波堤は、にごりを食べる貝類、泥を食べるナマコなど、色々な生物の住みかがある、環境にやさしい防波堤です。 100mのエコ防波堤全体で135量の住みかがあります。
事業効果	エコ防波堤の中に、普通の防波堤よりもたくさん生物が住みつくようになりました(表-1)。 ・効果1:にごりを食べる貝類、貝類のふんや泥を食べるナマコ、エビなどが増えています。 ・効果2:私たちが食卓で食べるマダコやチヌ、ニシ貝などの魚介類が増えました。ニシ貝の卵なども産み付けられています。 ・効果3:エコ防波堤の周りで、釣りの対象となるチヌなどの魚介類が増えました。 ・効果4:エコ防波堤の上にとまるカモメやサギの仲間が増えました。 ・効果5:私たちの食べるマダコ、チヌ、カニをはじめ、ヒトデや小さなエビなど、親しみやすい生物が増えました。

(2) FSM法による構造モデルの作成

a) 構造モデル作成のためのアンケート調査

FSM法による構造モデル(木下, 1996)は、人が感じる環境配慮効果間のあいまいな認識を構造化する手法である。本研究では、(3)のアンケートで四国中央市民に5つの効果別の支払意思額(WTP)を質問してWTPの違いを把握するとともに、作成した構造モデルに効果別WTPを代入して総WTPを算出することを目的とした。

構造モデル作成のためのアンケートは、エコ防波堤の評価情報を読んで設定した5つの効果項目間のペア比較を行い、アンケート被験者の感覚で、ある効果が他の効果に与える影響を0から10の11段階で定量的に評価する方法とした。ここに、「全く影響がない:0」、「半分くらい影響がある:5」、「非常に影響がある:10」とした。本研究では、知識の違いによる構造モデルの差異を検証するため、表-3の4属性をアンケート被験者とした。被験者は、エコ防波堤の効果を十分に理解したうえで各効果の連関を検討できることが重要なため、事前にエコ防波堤の効果に関する事前説明会を開催した(ただし、学識経験者を除く)。

b) 効果間の影響関係を表す構造モデルの作成

構造モデルの作成にあたって、まず、効果項目間の影響度を10で除して0~1の影響係数を求め、項目どうしを矢印で連結して係数を記入した。次に、項目間で及ぼし合う影響の波及の方向性を明瞭化するため、双方向の矢印が一方になるようしきい値を設定し、このしきい値よりも低い影響の矢印を削除した。図-1に全被験者のデータの平均値を用いて作成した構造モデルを示す。

表-3 構造モデルアンケートの被験者

属性	アンケート被験者	サンプル数
行政関係者	四国地方整備局職員	32人
生態(環境)工学・建設工学の学識経験者	愛媛・徳島大学教員	48人
生態(環境)工学・建設工学の学生	愛媛・徳島大学学生	46人
四国中央市民	四国中央市職員	33人

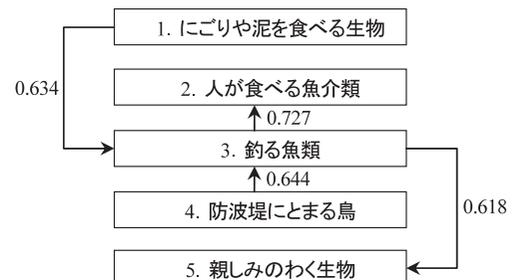


図-1 全体構造モデル (N=159, しきい値0.611)

図-1より、構造モデルは「3. 釣る魚類」を中心に各効果が影響し合う関係となった。特に、「1. にごりや泥を食べる生物」が増えることで、「3. 釣る魚類」が増え、「2. 人が食べる魚介類」も増えるという矢印の向きは、生態系における食物連鎖の流れを表していると考えられることから、一般性のある妥当なモデルが作成できた。

なお、学識経験者とその他の属性で、「3. 釣る魚類」と「5. 親しみのわく生物」の矢印の出入りの向きが異なった。しかし、釣る魚類が増えることと、親しみのわく生物が増えることの影響度にはほとんど違いは見られなかったため、矢印の向きの違いに特段の意味合いは無いと考えて平均化した(図-1)。

(3) CVM・FSM法による支払意思額(WTP)の算定

a) 支払意思額算定のためのアンケート調査

港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会(1999)のガイドラインと指針(国土交通省, 2009)に準拠してアンケートを設計した。(1)で作成した評価情報を添付して表-4の通り調査し、回収率30.6%, 576通の返信を得た。エコ防波堤直背後から2.5km間隔で10km以上までの地域からの回収率は26.2~36.2%であり、距離が遠いほど低下する傾向であった。

- ①対象世帯：三島川之江港の背後の四国中央市全域の世帯を対象とした。
- ②支払手段：追加税や寄付金と比べて支払抵抗を軽減しやすいとされる負担金と仮定した。
- ③支払期間：四国中央市在住の期間と仮定した。
- ④回答方式と提示金額：従来CVMでは、二段階二項選択方式とし、開始点バイアスを軽減するため、1,000円/年から5,000円/年の4種類の初回提示額を設定した。

表-4 支払意思額アンケート概要

項目	概要
調査期間	2010年1月下旬~2月上旬
対象世帯	四国中央市全域の世帯
配布・回収方法	郵送法 ・住民基本台帳からの無作為抽出
配布・回収数	1,883通・576通(30.6%)
調査内容	<p>【二段階二項選択方式の金額(従来CVM用)】 ○初回：二回目提示額(年額と月額を併記) ①1,000円；500円・2,000円 ②2,000円；1,000円・3,000円 ③3,000円；1,000円・5,000円 ④5,000円；3,000円・7,000円</p> <p>【支払カード方式の金額(FSM法用)】 ○効果項目ごとに選択(年額と月額を併記) 100円未満, 500円, 1,000円, 2,000円, 3,000円, 5,000円, 7,000円, 10,000円, 20,000円以上</p> <p>【その他】 回答者属性(職業等), エコ防波堤の認知・関心, 自由意見</p>

FSM法の構造モデルに代入する効果別のWTPについては、被験者への回答の負担が小さい支払カード方式を採用し、従来CVMと同じアンケート内で調査した。提示額の範囲については、プレアンケートの結果を踏まえて設定した。

b) 支払意思額(WTP)の算定

①従来CVMによる方法

無効回答を除外したうえで、区間打ち切り生存分析を用いて賛同率曲線を推定し、表-5に示すエコ防波堤の効果へのWTPを求めた。無効回答とは、回答者のエコ防波堤の効果に対する理解度を確認する設問において、効果としてあげていない「景観が良くなったと思うから」を選択した回答や、「世帯から負担金を集めるという仕組みに反対であるから」などを選択した抵抗回答である。

生存関数の推定には、WTPを容易に算定でき、かつ当てはまりが良いとされるワイブル関数を用いた。表中で関心度が高いとは「非常に関心が高い・関心がある」、低いとは「どちらでもない・ほとんど関心が無い・全く関心が無い」と回答したサンプルである。

全サンプルによるWTPの平均値は3,603円/世帯/年(以下、円のみ記載)、中央値は3,349円であり、両者の差額は、総額の1割未満と一般の事例に比べて比較的小さかった。このことは、提示額の設定幅が概ね妥当であったことなどを裏付けていると考えられる。

自由意見では、5km以上の地域ではエコ防波堤の恩恵は受けられないという指摘があった。しかし、5km未満とのWTPの差は100円程度と比較的小さかった。関心度別では、関心の高い方が低いサンプルより600円以上もWTPが高かった。

次に、本研究で算定した従来CVMによるWTPを他の事例と比較する。背後地の住民を対象とした他事例のWTPの中央値の例は、東京湾の人工なぎさ造成：6,420円(閑野ら, 1999)、大阪湾の人工干潟などによる護岸の改修：4,589円(入江・中辻, 1999)、諫早湾・曾根干潟の再生：3,000円前後(四角ら, 2003)であり、エコ防波堤へのWTP：3,349円は、都市部の自然再生よりは低いものの、九州の干潟再生と同程度であった。

表-5 従来CVMによるWTP(7,000円で裾切り)

評価区分	サンプル数(N)	WTP(円/世帯/年)		
		平均値	中央値	
全体	222	3,603	3,349	
距離(km)	~5まで	161	3,630	3,379
	5~10以上	61	3,524	3,263
関心度	高い	163	3,760	3,563
	低い	69	3,147	2,810

②FSM法の構造モデルを用いた方法

表-6に無効回答を除外して算定した、エコ防波堤の効果別のWTPの平均値を示す。

効果別のWTPの違いは、各効果への住民の期待の大小を表しており、1,144~1,625円/世帯/年（以下、円のみ表示）の範囲であった。最も安かったのは「防波堤にとまる鳥が増えました」の1,144円で、最も高かったのは「にごりや泥を食べる生物が増えました」の1,625円であった。

次に、効果別のWTPを用いて、5つの効果を有するエコ防波堤への総WTPの算出を試みた。各効果間には、図-1に示すように0.62~0.73の影響がある。すなわち、総WTPの算出においては、単純に各効果のWTPを積算するのではなく、効果間の影響度に応じてWTPも重複していると考えて差し引く必要がある。

以下に、構造モデル（全体）を用い、栗城ら（1999）と同様の方法で求めた総WTPの計算過程を示す。

○エコ防波堤の総WTP（全体モデル）

$$\begin{aligned}
 &= \text{効果1} + \text{効果4} \\
 &+ \text{Max}[0, \text{効果3} - 0.634 * \text{効果1} - 0.644 * \text{効果4}] \\
 &+ \text{Max}[0, \text{効果2} - 0.727 * \text{効果3}] \\
 &+ \text{Max}[0, \text{効果5} - 0.618 * \text{効果3}] \\
 &= 3,874 \text{円/世帯/年}
 \end{aligned}$$

※「効果（数字）」には、表-6のWTPを代入。

全体モデルによる総WTPの平均値は3,874円となり、従来CVMの3,603円と近い値であった。このことから、効果別のWTPが定量的に把握できた点で、FSM法は従来CVMを補完する有効な手法であることが示された。

3. エコ防波堤の事業評価

(1) 費用対効果分析による評価

表-7に費用対効果分析の緒元を示す。本研究では、エコ防波堤の環境配慮効果の費用対効果分析を行うため、防波堤の総事業費のうち環境配慮分の割増事業費を費用として取り扱った。便益の波及範囲に対しては、エコ防波堤から5km以上離れた世帯から恩恵を受けられないと

いう意見があった。閑野ら（1999）の研究でも、人工なぎさを整備する海岸線から5kmを境にしてWTPが低下したと報告されており、便益の波及範囲の設定には距離も重要な要素であることを示唆している。そこで、本研究では、自由意見を踏まえて5km圏内の世帯（2010年1月現在）を便益の波及範囲とした。また、対象世帯数を乗じて便益の総額を計算するには、世帯当たりのWTPの代表値である平均値の方が理論整合的であることから（国土交通省、2009）、便益の算出には平均値を用いた。

表-8にエコ防波堤の費用対効果（B/C）の算定結果を示す。エコ防波堤のB/Cは従来CVMで7.23、FSM法で7.65となり、両手法でエコ防波堤の環境配慮効果の社会的意義を示すことができた。

(2) 四国中央市民の意見からみた評価

エコ防波堤は一般の利用が不可能であるにも関わらず、WTPの平均値は3,600円を超え、九州の干潟再生に対するWTPの例と同程度の値となった。評価対象、地域性や時代背景が異なるため、WTPを単純に比較することはできないものの、本調査を行った2010年が世界同時不況の最中であったことなどを考えると、比較的高いWTPが得られたと評価できる。ここでは、アンケートの賛成、反対理由と自由意見から、比較的高いWTPが得られた要因の分析と今後の課題の抽出を試みた。図-2に本事業への賛成、反対理由の内訳を示す。

賛成理由（④、⑤は無効回答）をみると、①にごりや泥を食べる生物が増えたから、②人が食べる魚介類が増えたから、への期待の高さが伺える。自由意見には対象海域の“汚濁へのイメージ”が多数あり、「にごりや泥を

表-7 費用対効果分析の緒元

項目	項目	設定
費用	エコ防波堤の総事業費	852.775百万円
	環境配慮分の割増事業費	255.833百万円
便益	対象世帯数 (5km圏内)	25,955世帯
	従来CVMのWTPで算出	94.216百万円/年
	FSM法のWTPで算出	100.549百万円/年
費用対効果B/Cの計算条件	現在価値化する基準年度	平成22年度
	評価期間	50年間
	維持管理比率 (年間)	0.5%
	消費税率 (年間)	5.0%
	社会的割引率 (年間)	4.0%
	残存価値 (50年後, 10%)	370.822百万円

表-6 効果別のWTP (10,000円で裾切り)

効果項目	サンプル数(N)	WTPの平均値 (円/世帯/年)
1 にごりや泥を食べる生物	143	1,625
2 人が食べる魚介類	138	1,613
3 釣る魚類	127	1,346
4 防波堤にとまる鳥	119	1,144
5 親しみのわく生物	123	1,302

表-8 エコ防波堤のB/Cの算定結果

方法	総便益額B (億円/50年)	総割増事業額C (億円/50年)	B/C
従来CVM	25.60	3.54	7.23
FSM法	27.07		7.65

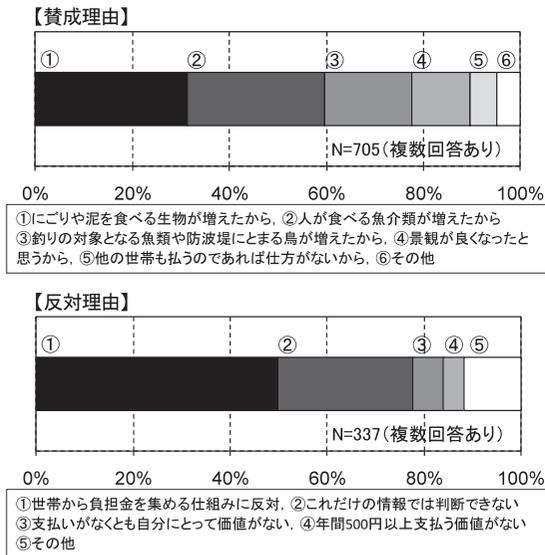


図-2 エコ防波堤事業への賛成・反対理由

食べる生物が増えました」のWTPにも反映されたと考えられる(表-6)。また、「少しでも環境が良くなるなら」、「次世代のために」といった意見もあった。

一方、反対理由をみると、約50%が①世帯から負担金を集める仕組みに反対、の抵抗回答であった。自由意見には、エコ防波堤事業には賛成であるものの、「負担金には反対」、「税金で実施すべき」との意見が多数あり、基本的にはエコ防波堤の事業を肯定的に捉えていると考えられた。その他の意見として、「事業内容は認めるが、知らなかったのでもっと広報すべき」などの意見もあった。今後の事業実施においては、積極的に事業を広報、周知すれば、関心度が高まり、表-5の結果からもWTPの向上に寄与すると期待される。また、エコ防波堤の効果の信頼性を疑問視する意見として、「3年間のデータでは不足している」という指摘があった。今後は生物相が安定するまでモニタリング調査を行って効果の持続性を検証すれば、エコ防波堤をはじめとする、環境配慮型事業の社会的受容性がより高まると期待される。

4. 結論

港湾行政では、環境配慮の標準化が求められており、干潟のように人が利用可能な施設の整備だけでなく、防波堤のような施設にも環境配慮を施すことが望ましい。

本研究では、人工浅場を付帯した“エコ防波堤100mの

環境配慮効果”について、従来CVMとFSM法で費用対効果分析を行った結果、B/Cは両手法で7.5前後となり、本事業の社会的意義を示すことができた。特に、非利用価値の「にゴリや泥を食べる生物が増えた」へのWTPが高く、住民の意見から環境改善への関心の高さも伺えた。

これまで、環境配慮事業の事後評価を行った例はほとんど見当たらない。今後も、このような事後評価を社会に問うことに挑戦し、その結果を積み重ねて環境配慮事業の社会的意義や受容性を高めていく必要がある。

本研究結果は、住民が直接利用できない環境配慮事業に対しても理解が得られることを示しており、今後の事業実施のための一助になれば幸いである。

謝辞：FSM構造モデルの作成にあたり、広島市立大学の市村匠講師から助言を頂いた。ここに記して、深く感謝申し上げる。

参考文献

入江政安・中辻啓二(1999)：CVMによる大阪湾の環境保全創造に関する一評価，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，pp.II-82-1-II-82-2.

関野高広・桜井慎一・横内憲久・岡田智秀(1999)：CVMによる環境創造の価値評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.49-54.

黄川田仁志・中辻啓二(2000)：沿岸域環境の経済価値の評価におけるCVM研究の問題点と今後の課題，海岸工学論文集，第47巻，pp.1291-1295.

木下栄蔵(1996)：意思決定論入門，近代科学社，pp.133-155.

栗城 稔・今村能之・小林裕明(1996)：水害の精神的影響の経済的評価，自然災害科学，vol.15(3)，pp.231-240.

上月康則・村上仁士・水口裕之・野田 巖・岩村俊平(2008)：自律的な環境保全・修復を促す直立型港湾構造物の開発と事後モニタリング結果について，第20回海洋工学シンポジウム，CD-R.

上月康則・山中英生・倉田健悟・太田博子・轟 朝幸・山村能郎・村上仁士(2001)：沿岸域の環境改善施策の実施に向けた“費用対効果”の問題に関する一考察，海岸工学論文集，第48巻，pp.1386-1390.

港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会(1999)：港湾投資の評価に関するガイドライン，財団法人港湾空間高度化センター，pp.2.13.1-2.13.23.

国土交通省(2009)：仮想的市場評価法(CVM)適用の指針，37p.

鈴木 武・滝川 清(2006)：コンジョイント分析による有明海の環境改善に対する支払意思の推定，第34回環境システム研究論文発表会講演集，pp.85-90.

四角公一・小島治幸・K.S.Sarwar Uddin AHMED・後藤恵之輔(2003)：CVMによる干潟海岸の環境価値に関する研究，海洋開発論文集，第19巻，pp.279-284.