

住民参加型小水力発電事業の経済評価と 住民参加のシミュレーション分析

大野 栄治¹・中谷 隼²・松本 明³・石川 良文⁴・森 龍太⁵

¹正会員 名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)
E-mail: ohno@urban.meijo-u.ac.jp

²非会員 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

³非会員 (株)エックス都市研究所 (〒171-0033 東京都豊島区高田2-17-22)
E-mail: matsumoto@exri.co.jp

⁴正会員 南山大学総合政策学部 (〒489-0863 愛知県瀬戸市せいれい町27)
E-mail: yishi@ps.nanzan-u.ac.jp

⁵学生会員 名城大学大学院都市情報学研究科 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

本研究では、温暖化対策と地域活性化の両立を図る住民参加型小水力発電事業について、当該事業による住民満足度向上の経済評価および当該事業への住民参加のシミュレーション分析を試みた。その際、CVMの評価指標とされるWTPに代わるものとして提案されたWTWに基づいた。その結果、経済評価においては、小水力発電事業に対するWTPが各種条件（売電収益、還元割合、謝礼）の関数で推定された。また、シミュレーション分析においては、住民参加を促すための各種条件（還元割合、謝礼、作業時間）の設定に関する知見が得られた。

Key Words : *citizen participation, conjoint analysis, economic evaluation, small hydroelectric generation, willingness to work*

1. はじめに

小水力発電とは、農業用水路や小さな河川を利用する小規模の水力発電を指す。また、わずかな落差を利用して発電するので、河川の未利用水資源を有効活用することができる。したがって、小水力発電には次のようなメリットがある。1) 河川や用水路をそのまま利用するため、新たに大規模なダムを造る必要がない。2) 河川の未利用水資源を活用するため、河川環境の改善につながる。3) 日本には水力発電に関するノウハウと技術が確立されているので、容易に導入できる。

このような小水力発電では、地域の河川や用水路に小規模な発電施設を設置するとともに、適正な流水を確保するために河川や水路を整備・維持管理することが必要になる。特に、小水力発電を効率的に稼働させるためには、日常的な施設の見回りや河川ごみの清掃などの維持管理が重要になる。その際、次のような住民参加型小水力発電事業が考えられる¹⁾。1) 河川や用水路の整備と小

規模な発電施設の設置は、地域住民の有志が地域の活性化に役立つ事業として立ち上げた地域小水力発電会社が行う。2) 日常的な維持管理（施設の見回り、河川ごみの清掃など）については、小水力発電施設を設置した地域住民の参加・協力により行う。3) 発電施設の維持管理などの技術的な専門性が必要な作業については、専門業者に委託する。4) 小水力発電事業の売電収益の一部が小水力発電施設を設置した地域に還元される。

そして、そのような住民参加型事業の推進を通じて地域住民の環境活動が活性化することにより、半公共的サービスが充実して、地域住民の満足度が向上することも期待される。本研究では、仮想市場評価法 (contingent valuation method: CVM) の評価指標とされる支払意思額 (willingness to pay: WTP) に代わるものとして提案された奉仕労働量 (willingness to work: WTW) に基づいて^{2),3),4),5)}、住民満足度向上の経済評価を試みる。また、その過程で推定された効用関数を用いて、当該事業への住民参加のシミュレーション分析を試みる。

2. データ収集

(1) アンケート調査の概要

本研究では、便益評価に用いる家計の効用関数を推定するため、20歳以上の長野県民を対象とした Web 形式のアンケート調査を 2013 年 10 月上旬に実施した。その結果、合計 1,096 件の回答が得られた。ここで、アンケート内容を理解できなかつたと回答しているものについては不適とし、分析から除外することとした。その結果、分析用の標本数は 1,077 件となった。なお、被験者の属性については以下のとおりである。

【性別】 男性：51.8%，女性：48.2%

【年齢】 20～24 歳：7.0%，25～29 歳：13.3%，30～34 歳：8.4%，35～39 歳：11.9%，40～44 歳：10.2%，45～49 歳：9.5%，50～54 歳：12.3%，55～59 歳：7.7%，60～64 歳：11.4%，65～69 歳：5.5%，70 歳以上：3.0%

【職業】 無職：12.8%，専業主夫・主婦：18.4%，学生・生徒：2.5%，パート・アルバイト：15.0%，会社員・従業員：32.8%，経営者・自営者：11.1%，国家公務員：0.4%，地方公務員：3.9%，団体職員：1.4%，その他：1.7%

(2) アンケート調査の内容

調査の表題は「地球温暖化対策と地域経済活性化に関する意識調査」とし、以下の内容で調査票を設計した。

【問 1】 個人属性（性別、年齢、職業、年収、環境保全等の活動状況）

【問 2】 地球温暖化の影響および対策に対する意識

【問 3】 再生可能エネルギー事業および小水力発電事業に対する意識

【問 4】 仮想的な小水力発電事業に関する一対比較（負担金）

【問 5】 同上（奉仕労働、謝礼なし）

【問 6】 同上（奉仕労働、謝礼あり、1 回目）

【問 7】 同上（奉仕労働、謝礼あり、2 回目）

【問 8】 調査内容の理解度

アンケート調査においては、被験者の居住地が長野県内であること、また個人属性による評価結果の違いを分析することを目的として、個人属性に関する質問を問 1 にて用意した。次に調査の導入として、地球温暖化の影響や対策を認知してもらうことを目的として、問 2～問 3 の質問を用意した。なお、影響や対策の説明を理解しやすくするために、図や写真を用いている。

本調査の主要な質問は問 4～問 7 であり、このうち本

論文で扱う中心部分は問 6 および問 7 である。ここでは表-1 に示すような異なるプロファイルを持つ 2 つの仮想的な小水力発電事業を提示し、被験者に望ましい方を選択してもらう「一対比較質問」とした。

表-1 仮想的な小水力発電事業に関する一対比較質問

以下のように「わずかな謝礼金のあるボランティア活動」を想定した小水力発電事業 A と B があなたのお住まいの地域に計画されたと仮定します。

【小水力発電事業 A】

- ①小水力発電事業の売電収益：
（地元の恩恵（雇用面）に関する要素）
_____ 年間 A1 万円
- ②地元の地域住民に対する売電収益の還元割合：
（地元の恩恵（公共サービス面）に関する要素）
_____ 売電収益の A2 %
- ③地元の地域住民に求められる作業（注 1）：
（地元の負担（奉仕労働面）に関する要素）
_____ 年間 A3 時間
- ④作業に対する謝礼：
（協力者の恩恵（収入面）に関する要素）
— 1 時間あたり A4 円の謝礼

【小水力発電事業 B】

- ①小水力発電事業の売電収益：
（地元の恩恵（雇用面）に関する要素）
_____ 年間 B1 万円
- ②地元の地域住民に対する売電収益の還元割合：
（地元の恩恵（公共サービス面）に関する要素）
_____ 売電収益の B2 %
- ③地元の地域住民に求められる作業（注 1）：
（地元の負担（奉仕労働面）に関する要素）
_____ 年間 B3 時間
- ④作業に対する謝礼：
（協力者の恩恵（収入面）に関する要素）
— 1 時間あたり B4 円の謝礼

（注 1） 河川や水路の日常的な維持管理（見回り、ごみの清掃など）

【問】 上記の小水力発電事業 A と B について、あなたはどちらの事業に対して協力してもよいと思いますか。あてはまるものを 1 つ選んでください。

1. A に協力してもよい
2. B に協力してもよい
3. どちらに協力してもよい
4. どちらにも協力したくない

なお、問 6 (表-1) の A1~A4 および B1~B4 および問 7 (表-1 と同様) の C1~C4 および D1~D4 の数値については、表-2 に示す変数 (売電収益, 還元割合, 作業時間, 謝礼) の数値を組み合わせで与えた。そして、全部で 13 通りの質問票を用意した。

3. 評価モデル

(1) 効用関数の特定化

表-1 に示すような小水力発電事業を選択する場合の効用を評価するために、個人の効用関数を次のように特定化した。

$$V = a_1 X_1 + a_2 X_1 X_2 + a_3 X_3 X_4 + \left\{ a_4 + \sum_{n=5} a_n X_n \right\} X_3 \quad (1)$$

ただし、 V : 小水力発電事業に対する効用水準、 X_1 : 小水力発電事業の売電収益、 X_2 : 地元の地域住民に対する売電収益の還元割合、 X_3 : 地元の地域住民に求められる作業、 X_4 : 作業に対する謝礼、 X_n : 各種の個人属性 (性別, 年齢, 世帯年収, 活動状況など)、 a_1, a_2, a_3, a_4, a_n : 未知のパラメータ。なお、変数の詳細は表-2 に示すとおりである。

ここで、式(1)の右辺第 1 項は地元の雇用面での恩恵に関する要素、第 2 項は地元の公共サービス面での恩恵に関する要素、第 3 項は協力者の収入面での恩恵に関する要素、第 4 項は地元の奉仕労働面での負担に関する要素を意味する。

(2) WTW の中央値

表-1 に示すような一対比較の質問に対する人々の選択行動をランダム効用理論の枠組みで捉えると、各選択肢 (事業 A と事業 B) の理論的選択確率が与えられる。このとき与えられる種々の確率モデルのうち、もっとも操作性の高いロジットモデルを以下に示す。

$$P_A = \frac{\exp[V_A]}{\exp[V_A] + \exp[V_B]} \quad (2)$$

$$P_B = 1 - P_A \quad (3)$$

ただし、 P_A, P_B : 事業 A, 事業 B を選択する確率、 V_A, V_B : 事業 A, 事業 B を選択する場合の効用。

ここで、式(2)および式(3)の理論的選択確率を用いて、特定の小水力発電事業に対する賛成・反対の選択行動を捉えることもできる。このとき、賛成する場合の効用は式(1)に当該事業の要素 (X_1, X_2, X_4) と奉仕労働量 (X_3) を代入して求められ、また反対する場合の効用は (当該事業の恩恵を受けない代わりに奉仕労働も提

供しないので) ゼロで与えられる。そして、特定の小水力発電事業に対して、住民の半数が賛成する場合の奉仕労働量を求めることができる。すなわち、これが WTW の中央値であり、 $V = 0$ となるような X_3 の値で与えられる。

$$X_3 = - \frac{a_1 X_1 + a_2 X_1 X_2}{a_3 X_4 + \left\{ a_4 + \sum_{n=5} a_n X_n \right\}} \quad (4)$$

(3) 効用関数の推定方法

式(2)および式(3)の理論的選択確率を用いて、表-1 に示すような一対比較の質問に対する選択行動に対する同時確率関数 (尤度関数) を構築する。そして、アンケート調査結果のデータを適用し、最尤法により効用関数のパラメータを推定した。ここで、各被験者に対して 2 パターン (問 6 と問 7) の一対比較を提示したこと、また以下のように各回答に対して 2 通りの回答を解釈したため、パラメータ推定に用いた標本数は 4,308 件となった。

1. A に協力してもよい

$$V_A > V_B \quad \text{and} \quad V_A > V_0$$

2. B に協力してもよい

$$V_A < V_B \quad \text{and} \quad V_B > V_0$$

3. どちらに協力してもよい

$$V_A > V_0 \quad \text{and} \quad V_B > V_0$$

4. どちらにも協力したくない

$$V_A < V_0 \quad \text{and} \quad V_B < V_0$$

ただし、 V_A, V_B, V_0 : 事業 A, 事業 B, 事業 0 (事業なし) を選択する場合の効用。

(4) 効用関数の推定結果

本研究の評価モデルによるパラメータ推定にあたり、初回の推定にはすべての変数を採用して分析を実施した。しかし、一部の変数においては統計的に有意でない値を示していたため、これらの変数は t 値の低い順に 1 つずつ分析から除外し、分析を繰り返した。その結果、最後に残った推定パラメータは、表-3 に示すとおりである。

(5) WTW 関数の推定結果

本研究の評価モデルにて推定したパラメータを式(4)に適用することにより、本研究で提案した小水力発電事業に対する WTW が推計される。その際、WTW は主に小水力発電事業の各種属性 (売電収益, 還元割合, 謝礼) の関数で与えられることから、それらと WTW の関係を図-1 (売電収益: 変動, その他の属性は固定)、図-2 (還元割合: 変動, その他の属性は固定)、図-3 (謝礼: 変動, その他の属性は固定) の 3 つに分けて表示する。

表-2 変数の内容

変数名	性質	内容	
売電収益	順序 カテゴリー	想定年間収益額 (1,000万円, 2,000万円)	
還元割合	順序 カテゴリー	想定還元率 (5%, 10%)	
作業時間	順序 カテゴリー	想定年間労働時間 (1時間, 4時間, 12時間, 50時間)	
謝礼	順序 カテゴリー	時間あたりの想定謝礼金額 (400円, 800円)	
性別	ダミー	被験者の性別 (男性=1, 女性=0)	
年齢	連続	被験者の年齢	
世帯年収	連続	被験者世帯の年収	
活動 状況	環境保全活動	ダミー	無報酬で参加/寄付=1, 関わらなかった=0
	町内会活動	ダミー	
関 心 度	温暖化	順序 カテゴリー	非常に関心がある=100, かなり関心がある=75, 普通に関心がある=50, 少し関心がある=25, 全く関心がない=0
	再エネ導入	順序 カテゴリー	
	小水力発電事業	順序 カテゴリー	

表-3 パラメータの推定結果

変数	推定値	t値	
売電収益	6.621×10^{-4}	9.061	
売電収益 × 還元割合	1.599×10^{-3}	1.898	
作業時間 × 謝礼	5.386×10^{-5}	6.487	
作業時間	-7.544×10^{-2}	-9.128	
性別×作業時間	-	-	
年齢×作業時間	-3.670×10^{-4}	-2.903	
世帯年収×作業時間	-7.106×10^{-6}	-1.473	
活動 状況	環境保全活動×作業時間	-	-
	町内会活動×作業時間	1.347×10^{-2}	3.652
関 心 度	温暖化×作業時間	2.036×10^{-4}	2.404
	再エネ導入×作業時間	-	-
	小水力発電事業×作業時間	4.964×10^{-4}	5.757
的中率	0.7221		
尤度比	0.1329		
標本数	4,308		

なお、各属性（売電収益、還元割合、謝礼）の固定値については、表-2における「仮想的な小水力発電事業における各属性の水準」の最小値を適用した。また、年齢と世帯年収については、厚生労働省の「平成24年賃金構造基本統計調査」を参考に、長野県の平均値付近である40歳および400万円を適用した。残りの属性については、最頻値を適用し、町内会活動状況については「関わらなかった」、温暖化および小水力発電事業の関心度については「普通に関心がある」を適用した。したがって、これらの固定値と一致する箇所（図中の◎印で表示）におけるWTWはすべて同じ値である。

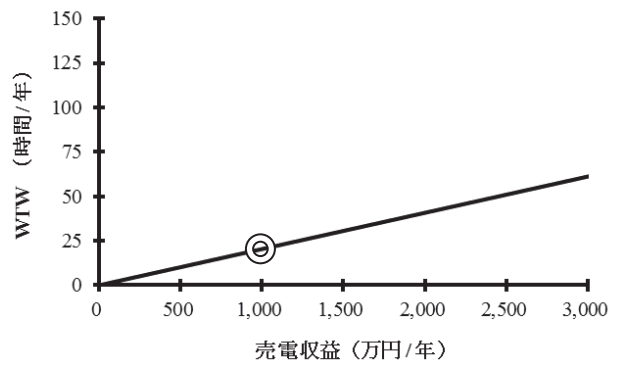


図-1 売電収益とWTWの関係

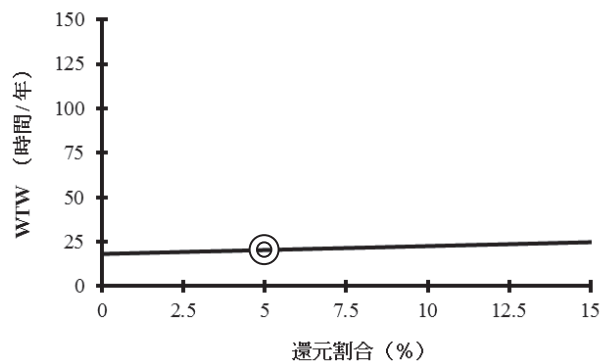


図-2 還元割合とWTWの関係

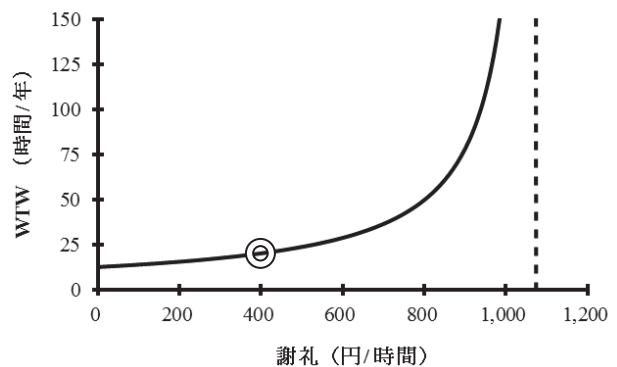


図-3 謝礼とWTWの関係

図-1より、売電収益の増加に伴うWTWの増加は直線的であることがわかる。また、図-2より、還元割合の増加に伴うWTWの増加についても同様に直線的であることがわかる。

図-3より、謝礼の増加に伴うWTWの増加は800円/時間を超えたあたりから急激に大きくなり、1,076円/時間あたりで無限大になることがわかる。ここで、被験者の居住地である長野県の最低賃金率は713円/時間（2013年10月19日から適用）である。そのため、作業に対する謝礼が800円/時間を超えたあたりから、被験者は当該作業を奉仕労働ではなく賃金労働として認識するようになり、このような変化を示すのではないかと予想される。

以上より、小水力発電事業に対するWTWは小水力発電事業の各種属性（売電収益、還元割合、謝礼）によって変化することが示されたが、式(4)で与えられるWTWは特定の小水力発電事業に対する住民一人当たりの奉仕労働量である。これにWTW関数の適用範囲内の人数を乗じることによって総WTWが求められる。

しかし、その適用範囲については、調査票に記したとおり「あなたのお住まいの地域」および「あなたのお住まいの近く」である。今回のアンケート調査では、小水力発電事業の実現性との兼ね合いにより、その定量的距離に言及しておらず、別途、実際に稼働している住民参加型小水力発電事業所においてヒアリング調査を予定している。

そこで、WTW関数の適用範囲を事業所から半径1km以内に住居を構える世帯の代表者（世帯主とは限らない）と仮定する。平成26年6月1日現在、長野県（調査対象地域）の基礎統計値は、総人口：2,109,669人、世帯数：810,709世帯、総面積：13,561km²であるので、WTW関数の適用範囲の人数は187.7人となる。これに住民一人当たりの奉仕労働量を乗じることによって総WTWが求められる。

4. 住民参加のシミュレーション分析

効用関数の推定結果に基づいて、地域住民の作業時間と参加率の関係をシミュレーションする。ここでは、事業Aを実施することを前提にして、事業Aに参加する場合の効用 V_A と参加しない場合の効用 V_{A-} が比較される。地域住民に作業時間 X_3 が求められたとき、地域住民の参加率 P_A は次式で与えられる。

$$P_A(X_3) = \frac{\exp[V_A(X_3)]}{\exp[V_A(X_3)] + \exp[V_{A-}]} \quad (5)$$

ここで、事業に参加しない個人は経済効果（売電収益）による雇用面の恩恵を受けられるが、公共サービス

面や収入面の恩恵を受けられないと仮定する。まず、経済効果 X_1 が2,000万円/年、作業に対する謝礼単価 X_4 が0円/時という条件の下で経済効果の地域への還元割合 X_2 を変化させた場合、参加率 P_A の変化は図-4に示すとおりである。なお、図中の赤丸印と赤影部分の意味については、後述する。図-4より、同じ作業時間でも還元割合が高いほど参加率が高いこと、また作業時間が長くなると参加率は低下して0に漸近することが分かる。なお、経済効果の地域への還元割合 X_2 が0%、また作業時間 X_3 が0時間/年という場合、参加率 P_A は0.5となる。

次に、経済効果 X_1 が2,000万円/年、作業に対する謝礼単価 X_4 が400円/時という条件の下で経済効果の地域への還元割合を変化させた場合、参加率 P_A の変化は図-5に示すとおりである。図-4と図-5の比較により、同じ作業時間、同じ還元割合でも、謝礼があると参加率が高いことが分かる。このことは、次のシミュレーションによって明確に示される。

経済効果の地域への還元割合 X_2 が(0%)という条件の下で作業に対する謝礼単価 X_4 を変化させた場合、参加率 P_A の変化は図-5に示すとおりである。このとき、経済効果 X_1 は効用 V_A と効用 V_0 の相対的な関係に影響を与えないため、参加率 P_A の変化は任意の経済効果に対して同一である。図-5より、同じ作業時間でも謝礼単価が高いほど参加率が高いこと、また謝礼単価を高く設定すれば作業時間に対する参加率の低下が緩やかになることが分かる。なお、経済効果の地域への還元割合 X_2 が0%であるため、作業時間 X_3 が0時間/年のとき、参加率 P_A は常に0.5となる。

以上のシミュレーションの結果より、次のことが言える。1) 短い作業時間でも多くの地域住民の参加を促すためには、経済効果への地域への還元割合を高くすることが有効である。2) 作業に対する謝礼単価を高く設定することにより、長い作業時間を求めても事業に参加する地域住民の割合の低下を緩やかにすることができる。3) 経済効果の地域への還元割合と作業に対する謝礼単価を組み合わせれば、長い作業時間を求めても多くの地域住民の参加を見込むことができる。

さて、事業の「実施」に対するWTWは、事業への「参加」に対するWTWとは異なり、事業を実施しない場合の効用 $V_0 = 0$ との比較により、式(4)で与えられる。式(4)は、事業を実施することを前提とせず、過半数の地域住民に受容される最大限の作業時間を表している。これに対して、事業への「参加」に対するWTWによる推計に基づく事業設計は、決定された作業時間に対して全ての個人が参加することを前提としている。そのため、求められた作業時間を拒否した住民にとっては、事業への強制参加が伴うことを意味する。一方、求められた作

業時間を受諾した住民の中には、それより長い作業時間でも事業に参加する意思を持つ住民も存在することから、その分だけ追加的な任意参加の機会を逃している可能性もある。この問題に対して、個人意思に基づく住民参加の形態が考えられる。このとき、事業への「参加」に対する WTW は、図4、5、6 の中の赤丸印で示される。また、事業に参加しない住民を含めた平均作業時間は、作業時間 X_3 で参加率 P_A を積分することによって求められ、図4、5、6 の中の薄い赤影部分で示される。

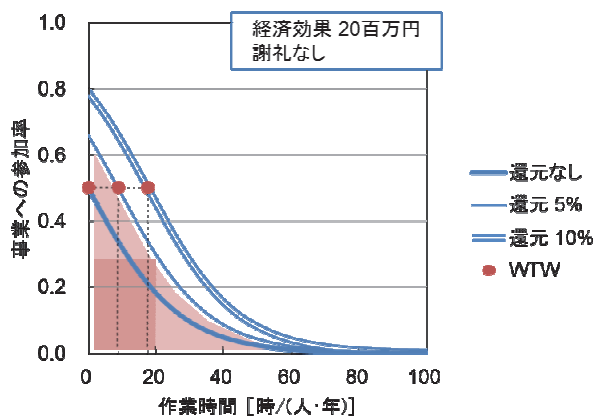


図4 作業時間と参加率の関係 (ケース1)

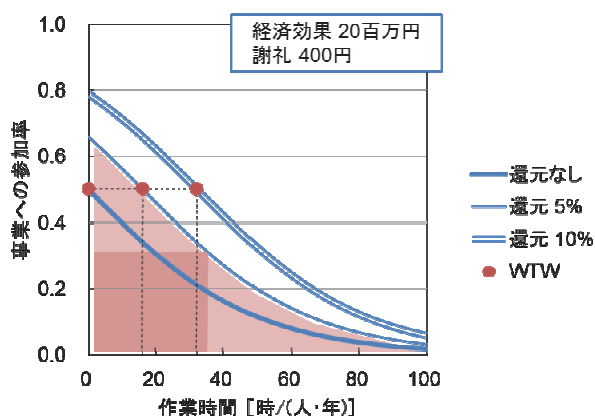


図5 作業時間と参加率の関係 (ケース2)

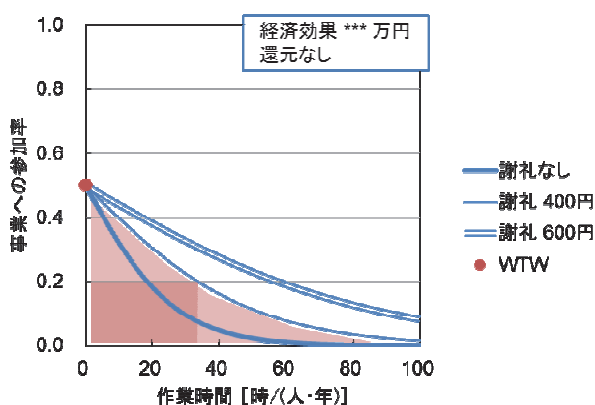


図6 作業時間と参加率の関係 (ケース3)

一方、平均作業時間に基づく事業設計は、個人の嗜好によって作業時間が個人毎に異なることを前提としているので、個人の意思を尊重した上で最大限の住民参加を見込める。しかし、経済効果の地域への還元之恩恵を同じように受けられる個人であっても作業時間が異なることにより、「ただ乗り」の存在を含めた公平性の問題が生じるため、特に長い作業時間を受容した住民の参加意思が低下することが考えられ、現実の作業時間は推計よりも短くなる可能性もある。この問題点に対して、個人意思および一律条件に基づく住民参加の形態が考えられる。このとき、事業に参加しない個人を含めた平均作業時間は、条件として提示された作業時間 X_3 に参加率 P_A を乗じることによって求められ、図4、5、6 の中の濃い赤影部分で示される。

5. まとめ

本研究では、温暖化対策と地域活性化の両立を図る住民参加型小水力発電事業について、当該事業による住民満足度向上の経済評価および当該事業への住民参加のシミュレーション分析を試みた。その際、CVM の評価指標とされる WTP に代わるものとして提案された WTW に基づいた。その結果、経済評価においては、小水力発電事業に対する WTW が各種条件（売電収益、還元割合、謝礼）の関数で推定された。また、シミュレーション分析においては、住民参加を促すための各種条件（還元割合、謝礼、作業時間）の設定に関する知見が得られた。

今後、最大の収益をもたらす政策、最大の社会的便益をもたらす政策など、住民参加型小水力発電事業に対する政策評価モデルを構築するとともに、それをを用いた政策評価を展開したい。

参考文献

- 1) 大野栄治ほか：第Ⅱ期 環境経済の政策研究『低炭素地域づくりに資する温暖化対策の地域経済への影響・効果の把握、統合的評価、及び環境経済政策への反映に関する研究』報告書, 2014.
- 2) 大野栄治：WTW による海面上昇対策便益の計測，都市情報学研究, No.4, pp.41-45, 1999.
- 3) 大野栄治：CVM による河川環境整備事業の便益評価－WTP と WTW の比較－，土木計画学研究・論文集, No.18(1), pp.49-55, 2001.
- 4) 大洞久佳・大野栄治：ボランティア活動による環境保全便益の評価，環境工学研究論文集，No.39, pp.143-151, 2002.
- 5) 大洞久佳・大野栄治：都市内河川の環境保全に対するボランティア活動の時間価値の評価，都市情報学研究, No.10, pp.39-45, 2005.