

温暖化防止と地域活性化の両立を目指す 小水力発電事業の提案と評価 －WTWに基づく経済評価－

大野 栄治¹・中谷 隼²・松本 明³・森 龍太⁴・今井 海里⁴

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正会員 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）

京都議定書以降の国際的合意に基づき、日本でも温室効果ガス排出抑制に向けた取り組みが推し進められている。そのために、各種規制や環境税の導入などが議論されており、国民に大きな負担が求められることになる。しかし、多くの地方都市では少子・高齢化の問題や地域経済の停滞などの問題が喫緊の課題となっており、そのような温暖化防止の政策が優先され難い状況にある。本研究では、市民参加型の再生可能エネルギー事業が地元の雇用に寄与することに着目し、温暖化防止と地域活性化の両立を目指す市民参加型の小水力発電事業を提案し、奉仕労働量に基づく経済評価を試みる。

Key Words : *contingent valuation method, global warming prevention, regional vitalization, small hydro-electric generation, willingness to work*

1. はじめに

京都議定書以降の国際的合意に基づき、日本でも温室効果ガス排出抑制に向けた取り組みが推し進められている。そのために、各種規制や環境税の導入などが議論されており、国民に大きな負担が求められることになる。しかし、多くの地方都市では少子・高齢化の問題や地域経済の停滞などの問題が喫緊の課題となっており、そのような温暖化防止の政策が優先され難い状況にある。また、地方都市には森林、風力、水力、太陽光などの自然資源が豊富にあるにもかかわらず、財政難によってこれらを活用した温暖化防止策のための資金が調達できないという問題もある。

一方、森林、風力、水力、太陽光などの自然資源を活用した再生可能エネルギー事業や関連産業の発展を通じて、地域経済の活性化に資することが期待される。例えば、長野県飯田市では、官と民の協働の下で市民参加型の再生可能エネルギー事業が進められている。そして、市民から出資金を募り、太陽光発電事業へ投資して収益

を上げ、市民に分配金（目標年間分配利回り：2.5%）を支払うなどの成果が挙げられている。

ここで、そのような市民参加型の再生可能エネルギー事業が地域へ与える効果としては、次のことが考えられる。環境面では、再生可能エネルギーの導入促進による二酸化炭素排出削減が挙げられる。経済面では、太陽光発電システムの設置が地元の施工業者によって行われることで、地元の雇用への寄与が挙げられる。特に住宅の屋根面等に設置する太陽光発電システムについては、現場施行の善し悪しが長期使用に耐える条件となることがあり、現場知識のある地元の施工業者によって行われるべきという考え方が背景にある。地元の施工業者による設置は、結果的に設置後のメンテナンスや故障時の修理などを依頼しやすく、また地元住民との信頼関係が構築されるなど、様々な効果をもたらすことが期待される。したがって、温暖化防止と地域経済活性化の両立を図る事業は存在すると考えてよい。

さらに、そのような市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（地域活性化に資する）ことも期待される。本研究では、出資や寄付などの金銭面だけでなく、見回りや清掃などの活動面での参加・協力も期待できる市民参加型の小水力発電事業を提案し、奉仕労働量（willingness to work: WTW）に基づく経済評価を試みる。

2. 太陽光発電事業と小水力発電事業

(1) 太陽光発電事業の事例¹⁾

前述の長野県飯田市における太陽光発電事業において大きな役割を果たしているのが、「おひさま進歩エネルギー株式会社」の企業グループである。飯田市内に本拠を置く同社は、寄付金により保育園に太陽光発電システムを設置するなどの地球温暖化問題に取り組んでいたNPO法人を母体として2004年に発足し、独自の環境ビジネスを行う企業として知られている。

家庭の太陽光発電パネル設置率が約1%の水準にある飯田市では、「おひさま進歩エネルギー株式会社」と連携して「おひさま0円システム」という仕組みや補助金（1kw当たり3万円、1件当たり15万円を上限）により、さらなる導入推進を図っている。「おひさま0円システム」では、設備所有者は「おひさま進歩エネルギー株式会社」であり、設置先の家庭等と使用貸借契約を結ぶ。設置先は9年間にわたり毎月19,800円を「おひさま進歩エネルギー株式会社」に支払い、10年目に設備が設置先に譲渡されるといった仕組みになっている。また、余剰電力売電収入は設置先が得ることになっており、これにより設置先には電力を節約するインセンティブが働くことになる。

「おひさま進歩エネルギー株式会社」の企業グループは、これまでに4つのファンドを募集し、環境・エネルギー政策上、公共性・公益性の高い分野への投資事業を行っている。4つのファンドの募集金額は8.1億円にのぼっており、環境省などの補助金も活用しながら、事業が進められている。特に飯田市において太陽光発電の取り組みが進められたのは「南信州おひさまファンド」である。飯田市民をはじめ全国からファンドを通じて資金を集め、太陽光発電システムを一般家庭や事業所、公共施設に設置するほか、省エネルギーの空調機器やヒートポンプの設置、バイオマス利用や太陽熱利用のグリーン熱供給施設に投資運用している。また、飯田市外においても、岡山県備前市や北海道石狩町の再生可能エネルギー利用事業などに投資している。

しかし、この取り組みにおいては、飯田市内のみならず全国から資金を集めていることから、地域経済的視点からみれば域外資金流出につながる面も懸念されている。資金確保の可能性を高めるために、対象を

域内に限定しないことは妥当な選択であるが、地域資源を活用した取り組みで得た利益は、ある程度域内に還流させる方が望ましいという考え方もある。「おひさま進歩エネルギー株式会社」の企業グループは、太陽光発電による環境付加価値を証書化した「グリーン電力証書」の発行・販売を当初から投資運用のなかに組み込んでおり、このような制度の活用によって再生可能エネルギー事業の社会的責任を目に見える形で認識してもらうための「見える化」に貢献している。このような社会的責任を地域である程度担うということからも、域内の出資率をある程度高めておく必要がある。

(2) 小水力発電事業の提案

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。

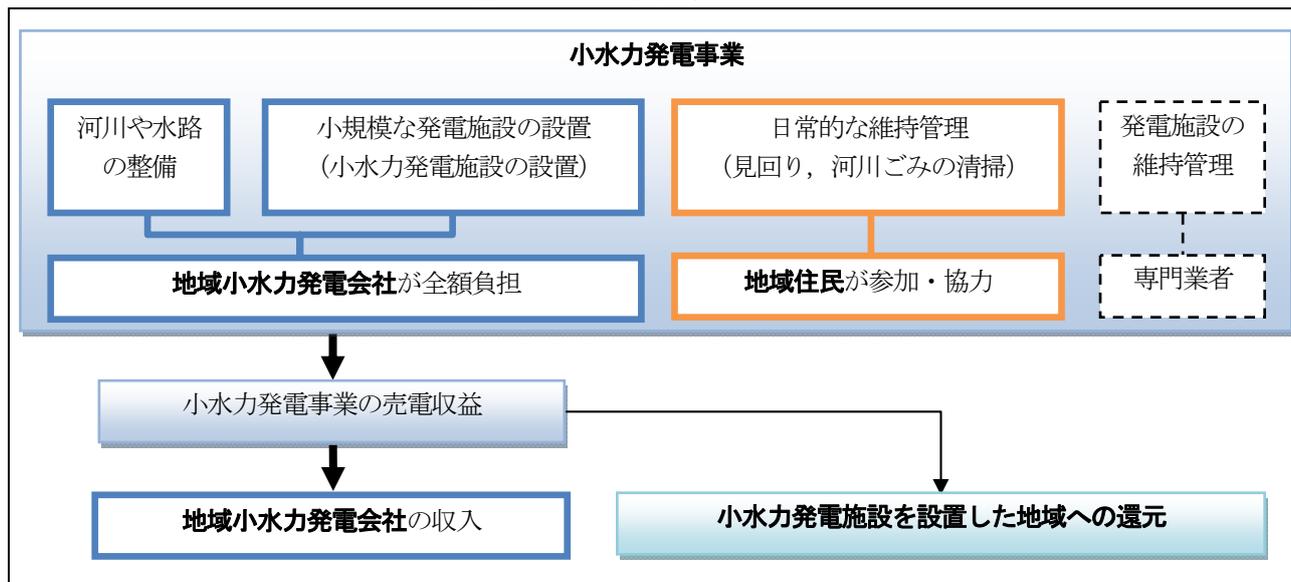
- 1) 河川や用水路をそのまま利用するため、新たに大規模なダムを造る必要がない。
- 2) 河川の未利用水資源を活用するため、河川環境の改善につながる。
- 3) 日本には水力発電に関するノウハウと技術が確立されているので、容易に導入できる。

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。そこで、温暖化防止と地域活性化の両立を目指し、次のような小水力発電事業を提案する。

- 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。

以上を図解したものが図-1である。ここで、前述の太陽光発電事業の事例と大きく異なる点は、出資や寄付などの金銭面だけでなく見回りや清掃などの活動面での

図-1 小水力発電事業のシナリオ



参加・協力も期待できること、地域資源を活用した取り組みで得た利益が域内に還流できること、これらにより地域住民の満足度が向上する（地域活性化に資する）ことなどが挙げられる。

できると考えられる。また、大野(2001)³⁾は、WTW のパイアス問題が WTP に比べて小さいことを示した。その後、WTW の適用事例として、大洞・大野(2002)⁴⁾、大洞・大野(2005)⁵⁾がある。

3. WTW に基づく経済評価

(1) WTW に関する先行研究

大野(1999)²⁾は、補償余剰 (compensating surplus: CS) あるいは等価余剰 (equivalent surplus: ES) の定義に基づき、仮想市場評価法 (contingent valuation method: CVM) における仮想的な支払意思額 (willingness to pay: WTP) に代わるものとして、新たに奉仕労働量 (willingness to work: WTW) を提案した。すなわち、CVM における WTW は次のように考えられる。

<環境改善の場合>

CS の定義に基づき、『環境改善がなかった場合の効用水準を維持するという条件の下で、その変化を獲得するために家計が奉仕するに値すると考える最大労働量 (WTW) 』をたずねる。

<環境悪化の場合>

ES の定義に基づき、『環境悪化があった場合の効用水準を維持するという条件の下で、その変化を避けるために家計が奉仕するに値すると考える最大労働量 (WTW) 』をたずねる。

ここで、上記の WTW は人々の日常生活においてしばしば見られる行動（奉仕労働の表明）であるので、人々はこれをアンケート調査で訪ねられても比較的容易に回答

(2) WTW の経済学的意味

まず、次のような消費者行動を考える。

$$\max_{\ell, x, y, z} u[x, y, z; q] \quad (1)$$

$$s.t. \quad px + y \leq w\ell \quad (2)$$

$$\ell + z = T \quad (3)$$

ただし、 $u[\cdot]$ ：効用関数、 ℓ ：労働時間、 x ：価格 p の財の消費量、 y ：価格 1 の合成財の消費量、 z ：余暇時間、 q ：環境水準、 p ：財 x の価格、 w ：賃金率、 T ：総時間。

式(2)は予算制約、式(3)は時間制約を表すが、これらより労働時間 ℓ を消去して 1 つの制約式とすることができる。

$$s.t. \quad px + y \leq w \cdot (T - z) \quad (4)$$

式(1)および式(4)の制約条件付効用最大化問題を解くと、最大効用は次のような間接効用関数で与えられる。

$$v = v[p, w, wT; q] \quad (5)$$

次に、環境改善 ($q^a \rightarrow q^b$) によって効用水準が上昇する場合 ($v^a \rightarrow v^b$) を考えると、その環境改善は補償的余剰 (CS: compensating surplus) の概念より次

式の WTP で金銭評価される。

$$v^a = v[p^b, w^b, w^b T - WTP; q^b] \quad (6)$$

一方、金銭ではなく労働による支払いを考えると、その環境改善は次式の WTW で評価される。

$$v^a = v[p^b, w^b, w^b \cdot (T - WTW); q^b] \quad (7)$$

したがって、WTW と WTP には次式の間接関係があることがわかる。

$$WTP = w^b \times WTW \quad (8)$$

しかし、労働時間 l が固定されている場合には、式 (8) の関係は保証されない。現実的には、労働時間を割いてボランティアをするような社会の仕組みにはなっていないので、WTW と WTP の関係については、さらなる理論的考察が必要である。

(3) WTW の活用

従来の CVM やコンジョイント分析によって計測される WTP は、環境財（非市場財）の変化による効用水準の変化分を貨幣換算したものであり、現実の市場には出現しない仮想的な経済価値（非市場価値）である。ここで、環境政策の費用便益分析では、市場に出現する「市場価値」と出現しない「非市場価値」を合計して便益とする。一方、環境政策の産業連関分析（input output analysis: IO 分析）では、市場に出現する数値（生産額、所得など）を扱い、市場に出現しない「非市場価値」を扱わない。しかし、WTP ではなく WTW の場合は、現実の市場に出現する「労働力」として捉えることができる。そこで、従来の IO 分析では扱わなかった非市場価値（WTP の評価値）を市場価値（WTW の評価値）に置き換えることにより、新たな視点による IO 分析が可能になる。

4. 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、長野県民を対象としたアンケート調査を計画した。

現在、長野県飯田市役所職員 15 名の協力を得て、プレ調査を終了したところである。これを踏まえて、平成 25 年 9 月～10 月、長野県民を対象とした web 調査、および長野県飯田市民を対象とした郵送調査を実施することとした。

(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】地球温暖化の影響に関する意識
- 【問 2】地球温暖化の対策に関する重要性の意識
- 【問 3】二酸化炭素排出削減に関する意識
- 【問 4】小水力発電事業に関する意識
- 【問 5】仮想的な小水力発電事業に関する一対比較
- 【問 6】被験者の個人属性（年齢、性別、職業、年収、環境保全等の活動状況）

まず、アンケート調査の導入として、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 1～問 4 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、図や写真を用いた。

本研究の調査の中心部分は問 5 である。図-1 に示すようなシナリオの下で、表-1 に示すような一対比較の質問に回答してもらうものである。表-1 は、異なるプロフィールを持つ 2 つの仮想的な小水力発電事業を提示して、被験者に望ましい方を選択してもらうことを意図している。表中の A1～A4 および B1～B4 の数値として、複数の組み合わせを用意した。そして、コンジョイント分析により、小水力発電事業に対する WTW を求めることができる。

最後に、個人属性による評価結果の違いを分析するために、問 6 の質問を用意した。

表-1 仮想的な小水力発電事業に関する一対比較

あなたの居住地域において、以下のカードに示されるような小水力発電事業が計画されたと仮定します。あなたは、A と B のどちらの事業が望ましいと考えますか。

【小水力発電事業 A】

- ①小水力発電事業の収益：年間 A1 万円
- ②居住地域への還元割合：収益の A2 %
- ③維持管理の作業に対する謝礼：1 時間あたり A3 円
- ④地域住民に求められる作業量：年間 A4 時間

【小水力発電事業 B】

- ①小水力発電事業の収益：年間 B1 万円
- ②居住地域への還元割合：収益の B2 %
- ③維持管理の作業に対する謝礼：1 時間あたり B3 円
- ④地域住民に求められる作業量：年間 B4 時間

次の 1～3 のうちで当てはまるものを 1 つ選んでください。

- 1. A が望ましい
- 2. B が望ましい
- 3. どちらも望ましくない

5. 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する。

$$V = a_1 X_1 + a_2 X_1 X_2 + a_3 (X_3 X_4 - w X_4) + a_4 X_4 \quad (9)$$

ただし、 V ：小水力発電事業に対する効用水準、 X_1 ：小水力発電事業の収益、 X_2 ：居住地域への還元割合、 X_3 ：維持管理の作業に対する謝礼、 X_4 ：地域住民に求められる作業量、 a_1, a_2, a_3, a_4 ：未知のパラメータ。

ここで、式(9)の右辺第1項は出資者の利益に関する要素、第2項は居住地域の利益に関する要素、第3項は地域住民の収入に関する要素、第4項は地域住民の奉仕労働（地域のために汗をかくこと）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。

$$P_A = \frac{\exp[V_A]}{\exp[V_A] + \exp[V_B]} \quad (10)$$

$$P_B = 1 - P_A \quad (11)$$

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(10)および式(11)の理論的選択確率を用いて、任意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(9)に当該事業の要素（ X_1, X_2, X_3 ）と奉仕労働量（ X_4 ）を代入して求められ、また反対する場合の効用は（当該事業の恩恵を享受し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、任意の小水力発電事業に対して、市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_4 の値で与えられる。

$$X_4 = \frac{a_1 X_1 + a_2 X_1 X_2}{a_3 (X_3 - w) + a_4} \quad (12)$$

(3) 効用関数の推定方法

式(11)および式(12)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する。

6. まとめ

本研究では、市民参加型の再生可能エネルギー事業が地元の雇用に寄与することに着目し、温暖化防止と地域活性化の両立を目指す市民参加型の小水力発電事業を提案し、奉仕労働量に基づく経済評価を試みた。

ここで提案した小水力発電事業は、出資や寄付などの金銭面だけでなく見回りや清掃などの活動面での参加・協力も期待できること、地域資源を活用した取り組みで得た利益が域内に還流できること、これらにより地域住民の満足度が向上する（地域活性化に資する）ことなどの面において、これまでの再生可能エネルギー事業とは異なるものである。

なお、当該事業の経済評価については、アンケート調査の「本調査」が本稿の提出時まで完了しておらず、ここに評価結果を記述することができなかった。評価結果については、発表時までに取り纏める予定である。

謝辞：本研究は、環境省の『第Ⅱ期 環境経済の政策研究』（研究課題：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、代表者：大野栄治）の成果の一部である。ここに記して、謝意を表したい。

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、2013。
- 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、4、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、18(1)、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、39、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、10、39-45、2005。

PROPOSAL AND EVALUATION OF SMALL HYDRO-ELECTRIC GENERATION
WHICH AIMS AT COEXISTENCE OF
GLOBAL WARMING PREVENTION AND REGIONAL VITALIZATION
- ECONOMIC EVALUATION BASED ON WTW -

Eiji OHNO, Jun NAKATANI, Akira MATSUMOTO,
Ryuta MORI and Kairi IMAI

Based on the international agreement after the Kyoto Protocol, the measure to greenhouse-gas-emission control is promoted even in Japan. Therefore, it argues about various regulations, introduction of the environmental tax and so on, so people will be asked for the big burden. However, in many local cities, problems such as the low birthrate and longevity and stagnation of regional economy are important subjects, and it is hard to give the priority to the policy of such global warming prevention. In this research, by paying attention to the citizen participation type renewable energy work which contributes to local employment, we propose a citizen participation type small hydro-electric generation which aims at coexistence of global warming prevention and regional vitalization. And its economic evaluation which is based on the concept of the willingness to work (WTW) is tried.