

持続可能な地域づくりに資する 再生可能エネルギーのビジネスモデルの 提案と評価

大野 栄治¹・森 龍太²・杉浦 伸³・森杉 雅史⁴

¹正会員 名城大学都市情報学部 (〒461-8534 愛知県名古屋市東区矢田南4-102-9)

E-mail: ohnoeiji@meijo-u.ac.jp

²正会員 兵庫県立大学地域創造機構 (〒651-2197 神戸市西区学園西町8-2-1)

E-mail: ryu1603mori@gmail.com

³正会員 名城大学都市情報学部 (〒461-8534 愛知県名古屋市東区矢田南4-102-9)

E-mail: shinsu@meijo-u.ac.jp

⁴正会員 名城大学都市情報学部 (〒461-8534 愛知県名古屋市東区矢田南4-102-9)

E-mail: morisugi@meijo-u.ac.jp

名城大学の研究チームは、稲作で発生した稲わらから効率よく発生するメタンを簡便に回収する技術であるGETシステムを開発したが、その採算性に問題があることが判明した。本研究では、まずGETシステムが黒字化するために、行政や地域社会からの支援がどれだけ必要かを示した。次に、GETシステムによる電力を活用したビジネスモデルとして、電気自動車をベースとした高齢者福祉タクシーの導入を提案するとともに、行政や地域社会からの支援に相応しい社会的価値があるかどうかを評価する手法を構築した。そして、再生可能エネルギー事業に関する意識調査を実施し、本研究で提案したビジネスモデルの社会的価値の評価を試みた。

Key Words : *renewable energy, biogas power generation, GET system, local resident volunteers, willingness to work*

1. はじめに

名城大学の研究チームは、稲作で発生した稲わらから効率よく発生するメタンを簡便に回収する技術であるGETシステムを開発した。しかし、GETシステムの社会実装を検討したところ、採算性に問題があることが判明した。このような再生可能エネルギーによる発電事業は持続可能な循環型社会の形成に大きく貢献すると期待されているが、自然資源の豊富な地方都市では少子・高齢化や地域経済停滞などの問題が喫緊の課題となっており、当該事業が優先されない状況にある。本研究の目的は、持続可能な地域づくりに資する環境経済政策を提案することである。本研究では、まずGETシステムが黒字化するために、行政や地域社会からの支援がどれだけ必要かを示す。また、そのような支援に相応しい社会的価値があるかどうかを評価する手法を構築するとともに、GETシステムのビジネスモデルを提案し、評価することを目

的とする。

2. GETシステムの概要

名城大学農学部では、生体機能を利用して温室効果ガスや廃棄物からエネルギーを生み出す独自の技術を確立し、稲作で発生した稲わら湛水した水田で発生するメタンを手軽に回収する技術であるGETシステムを開発した。この技術を利用することにより、稲わら1kgからメタン濃度60%のバイオガス(バイオメタン)300Lを製造することに成功した。ここで、「GET」は「Get Energy from Tanbo(田圃からエネルギーを得る)」の頭文字である。

そして、名城大学農学部は理工学部と共同して、GETシステムで生成されたバイオメタンを精製せずにガスエンジン発電機に供給し、安定して発電するための貯蔵供給システムとガスエンジン発電機の制御システムを開発

した。その後、制御システムをさらに改善し、稲わらや雑草から発生するバイオメタンを燃料として、出力 800W の発電に成功した。さらに、バイオメタン生産後の発酵残渣の多い水田では、無施肥の稲作が実現できることが示された。発酵残渣とは「発酵後の残りかす」のことである。

GET システムの概念は以下のとおりである。まず、稲作後の水田から稲わらを集め、休閑田の GET システムに稲わらを投入する。次に、メタンを発酵させ、再生可能エネルギーとして利用する。一方、稲作には発酵残渣を供給する。つまり、温室効果ガスの削減が求められている水田からのメタンを燃料として利用し、農地の有効利用や地力の維持にも貢献する。地力とは「土地が作物を育てる能力」のことである。

例えば、田圃の一角に GET システムを設置し、メタンを回収する。その隣に発電機を設置し、メタンを電気に変換する。道路脇に充電スタンドを設置し、電源を利用できるようにする。地元住民は、電気自動車、草刈りロボット、稲わら収集ロボットなどを動かすために電力を使用することができる。

しかし、GET システムの社会実装を検討したところ、採算性に問題があることが判明した。GET システムの費用構造は、ガス発電エンジン、ガス貯留簡易タンクと配管、ガス回収用シート、稲わらを集めるための人件費と燃料費、設備の維持費に分けられる。一方、GET システムの収益構造は、電力販売、重油代替に分けられる。重油代替とは、メタンの発酵に伴う発熱量を重油に換算したものの（重油経費の節約分）のことである。

図-1 は GET システムの累積収支バランスを示す。これより、GET システムの費用を回収することは全く期待できないことがわかる。

そこで、行政からの補助金と地域社会からのボランティアの受け入れを検討する。補助金は初期費用の 1/3 を想定し、ボランティアは稲わらを集めるための活動を想定する。このような補助金とボランティアを受け入れると、GET システムの累積収支バランスは図-2 のようになり、10 年以内に費用を回収することができる。これより、GET システムを導入するためには行政（補助金）や地域社会（ボランティア活動）などの支援が必要であることがわかる。

さて、GET システムがそのような支援を受け入れるためには、行政や地域社会に対してインセンティブを示す必要がある。さらに、そのようなインセンティブを示すためには、GET システムの社会的・経済的価値を示す必要がある。例えば、GET システムの導入による社会的費用（処理費用、温室効果ガスなど）の削減が考えられるが、GET システムによる電力を活用したビジネスモデルを導入することにより、ビジネスモデルの社会的価値

を付加することができる。

一方、電力の固定価格買取制度（FIT: Feed-in Tariff）が終了するという可能性があり、GET システムの売電収益が中長期の将来に亘り維持されるとは限らない。このためにも、GET システムによる電力を活用したビジネスモデルの導入が期待される。

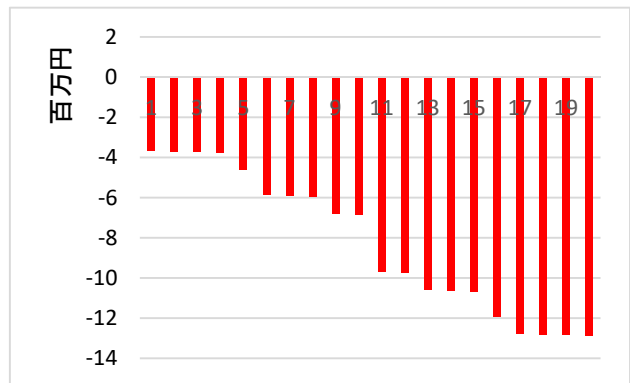


図-1 GET システムの累積収支バランス
(原型)

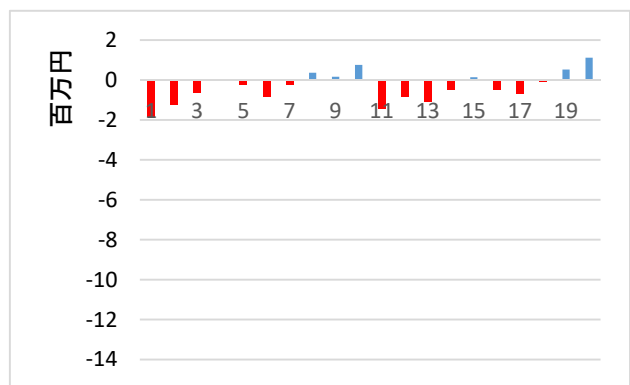


図-2 GET システムの累積収支バランス
(原型+補助金+ボランティア)

3. ビジネスモデルの提案

本研究では、GET システムによる電力を活用したビジネスモデルとして、電気自動車をベースとした高齢者福祉タクシーの導入を提案する。

ここで提案する高齢者福祉タクシーは、近年注目されている高齢者ドライバーによる自動車運転事故の問題を背景として、高齢者の移動利便性を確保しながら運転免許返納を促す政策として位置づけられる。このような社会的価値を見込んだ政策が GET システムの下で展開されることにより、GET システムに新しい社会的価値が付加される。その結果、GET システムの社会的・経済的価値は従来の「温室効果ガスの削減」「農地の有効利用」「地力の維持」および「高齢者福祉の向上」となる。さらに、地域社会がこれらの価値を認め、多くの地域住民

がボランティア活動に参加するようになると、コミュニティーのつながりが深まり、新たな社会的価値を生むという可能性がある。

まず、高齢者福祉タクシー事業について、表-1 のように想定する。導入地区は日本の平均的な過疎地域における人口 100 人の地区とする。2015 年現在、日本の過疎地域の高齢者率が 36.7% であることから、当該地区の 65 歳以上の高齢者人口は 36.7 人とする。タクシー事業は毎日稼働し、65 歳以上の高齢者のみをサービスの対象とする。高齢者の利用頻度は 1 人あたり毎月 4 回、利用距離は 1 回あたり往復 10km (乗り継ぎ可能)、利用料金は運賃 600 円/回とする。

以上の想定において、電気自動車の運行に必要な電力は年間 3,523.2 kWh、毎日 9.7 kWh となる。一方、GET システムの発電量は年間 16,742 kWh、電気自動車用バッテリーの容量は 40 kWh (NISSAN_LEAF) であることから、このタクシー事業は実行可能である。なお、GET システムの発電量は季節により変動し、時期的に電力の過不足が発生するが、系統電力との融通により過不足の問題を解消することが可能である。

タクシー事業の費用構造は、車両の購入費、車検代、自動車税、重量税、任意保険料、ドライバーの人件費に分けられる。一方、タクシー事業の収益構造は、運賃収入のみである。ここで、上記の費用構造ではタクシー事業の費用を回収することは全く期待できないことから、行政の補助を前提とする 2 つの事業案を検討する。事業案 1 は、タクシー事業に使用する車両を行政の公用車として位置づけ、車両の購入費と車検代を行政の補助で賄うこととする。事業案 2 は、車両の購入に際して国の「クリーンエネルギー自動車導入事業費補助金」を獲得するとともに、ドライバーを行政の職員として位置づけ、ドライバーの人件費を行政の補助で賄うこととする。

図-3 および図-4 は、それぞれ GET システムによる電力を活用したタクシー事業案 1 および事業案 2 の累積収支バランスを示す。これより、事業案 1 (車両の購入費と車検代を補助で賄う) は事業費を回収できないが、事業案 2 (ドライバーの人件費を補助で賄う) は 10 年以内に事業費を回収できることがわかる。

以上より、GET システムによる電力を活用した高齢者福祉タクシー事業は、行政からの支援 (GET システムの初期費用の 1/3、ドライバーの派遣) および地域社会からの支援 (稲わらを集めるためのボランティア活動) を得なければ、経営的に成り立たないことが分かる。

ここで、行政からの支援として、GET システムの初期費用の 1/3 は 120 万円に相当し、ドライバーの派遣は年間 91 万円に相当する。地域社会からの支援として、稲わらを集めるためのボランティア活動は年間 64 万円に相当する。したがって、これらの支援を獲得するために

は、相当金額以上の社会的価値を示す必要がある。

表-1 高齢者福祉タクシー事業の想定

<p>【導入地区の想定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人口： 100 人 ・65 歳以上の高齢者人口： 36.7 人
<p>【タクシー事業の想定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・稼働日： 毎日 (=365 日/年) ・利用者： 65 歳以上の高齢者のみ ・利用頻度： 4 回/月/人 (=1,761.6 回/年) ・利用距離： 往復 10km/回 (乗り継ぎ可能) ・利用料金： 運賃 600 円/回 ・走行距離： 10km/時間 (実際の走行) +10km/時間 (空走行) ・年間走行距離： 35,232km/年 ・1 日あたりの平均走行距離： 96.5km/日 ・年間必要電力： 3,523.2kWh/年 < 16,742kWh (GET システム) ・1 日あたりの平均必要電力： 9.7kWh/日 < 40kWh (電気自動車用バッテリー)

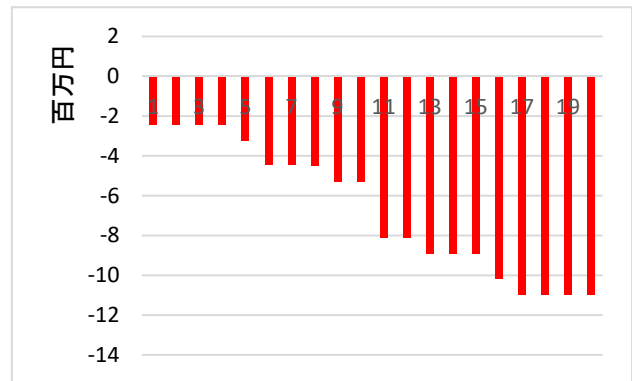


図-3 高齢者福祉タクシー事業の累積収支バランス (事業案 1：車両の購入費と車検代を補助で賄う)

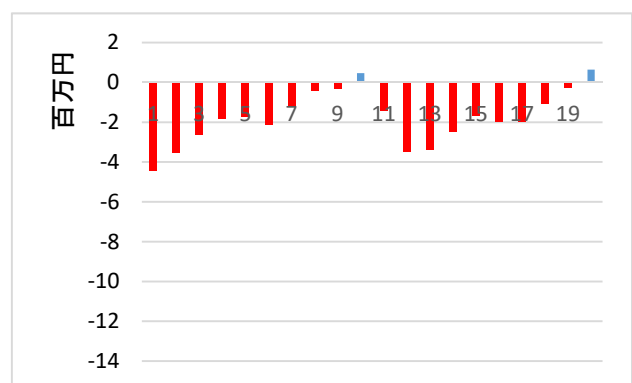


図-4 高齢者福祉タクシー事業の累積収支バランス (事業案 2：ドライバーの人件費を補助で賄う)

社会的価値の項目として、温室効果ガスの削減、農地の有効利用、地力の維持、高齢者福祉の向上、コミュニティーの強化などが考えられる。ここで、温室効果ガスの削減については削減量×原単位、農地の有効利用につい

ては農業生産額の増加分，地力の維持については肥料代の節約分により，それぞれの社会的価値が求められる．一方，高齢者福祉の向上とコミュニティーの強化の価値計測については，支払意思額（WTP: Willingness to Pay）などに基づく方法以外に考えられない．本研究では，先行研究¹⁾で用いた奉仕労働量（WTW: Willingness to Work）に基づく価値評価を試みる．

4. 社会的価値の評価モデル

(1) 効用関数の特定化

高齢者福祉タクシー事業を伴う再生可能エネルギー事業に関する個人の効用関数を次のように特定化する．

$$V = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 (T_L - W_3) + a_4 W_3 R_4 + \left(\sum_{i=5} a_i X_i \right) W_3 \quad (1)$$

ただし， V ：事業に関する個人の効用水準， D_1 ：草刈りなどの清掃に必要な用具の支援の有無， D_2 ：事業によって節約された行政予算の配分の有無， W_3 ：地域住民に求められる清掃作業の時間， R_4 ：作業に対する謝礼金額， T_L ：余暇時間， X_i ：各種の個人属性（性別，年齢，居住地，職業，業種，世帯年収，各種活動の有無など）， a_1, \dots, a_4, a_i ：未知のパラメータ．

ここで，地域住民に求められる清掃作業は，個人の自由意思に基づいて行われるボランティア活動（奉仕労働）であり，個人の余暇時間内に行われるものと想定する．式(1)の右辺第1項は行政の物資面での支援に関する要素，第2項は行政の金銭面での支援に関する要素，第3項は個人の活動面での負担に関する要素，第4項は個人の収入面での恩恵に関する要素を意味する．

(2) 奉仕労働量の中央値

任意の事業に対する個人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（ D_1, D_2, R_4 ）と奉仕労働の時間（ W_3 ）を代入して求められ，また反対する場合の効用は（当該事業の恩恵を享受しない代わりに奉仕労働も提供しないので余暇時間（ T_L ）に関する効用のみで与えられる．そして，特定の事業に対して，住民の半数が賛成する場合の奉仕労働量（WTW: Willingness to Work）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， $V_A = V_B$ となるような W_3 の値で与えられる．

$$W_3 = \frac{a_1 D_1 + a_2 D_2}{a_3 - a_4 R_4 - \sum_{i=5} a_i X_i} \equiv \text{WTW} \quad (4)$$

(3) 社会的価値の評価モデル

式(4)のWTWについて，作業に対する謝礼金額がゼロの場合，WTWは無償のボランティア活動となる．このとき，ボランティア活動が余暇時間内で行われるものと想定しているため，活動目的となる事業の社会的価値は「余暇時間の価値×WTW」と等価であると考えられる．一方，作業に対する謝礼金額がゼロより大きい場合，WTWは有償のボランティア活動となり，参加者は有償分の活動を一種のアルバイトとして認識する可能性がある．このとき，活動目的となる事業の社会的価値は「WTWの生産者余剰」と等価であると考えられる．すなわち，当該事業の社会的価値は次式で評価される．

$$SV_{FV} = \frac{a_1 D_1 + a_2 D_2}{a_3 - \sum_{i=5} a_i X_i} \times R_L \quad (5)$$

$$SV_{PV} = \int_0^{R_4} \frac{a_1 D_1 + a_2 D_2}{a_3 - a_4 R - \sum_{i=5} a_i X_i} dR + \frac{a_1 D_1 + a_2 D_2}{a_3 - \sum_{i=5} a_i X_i} \times (R_L - R_4) \quad (6)$$

ただし， SV_{FV} ：無償ボランティア活動の社会的価値， SV_{PV} ：有償ボランティア活動の社会的価値， R_L ：余暇時間の価値（ $0 < R_4 < R_L$ ）．

5. データ収集

GETシステムによる電力を活用した高齢者福祉タクシー事業の社会的価値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，岐阜県，静岡県，愛知県民を対象としたWeb形式のアンケート調査を2020年3月上旬に実施した．その結果，合計2,000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っ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1,991件となった．なお，被験者の属性分布については以下のとお

りである。

- 【性別】 男性：50.1%，女性：49.9%
- 【年齢】 20～24 歳：5.8%，25～29 歳：14.0%，30～34 歳：8.1%，35～39 歳：12.0%，40～44 歳：8.1%，45～49 歳：11.9%，50～54 歳：10.0%，55～59 歳：10.0%，60～64 歳：8.2%，65～69 歳：5.8%，70 歳以上：6.0%
- 【職業】 無職：11.7%，専業主夫・主婦：16.2%，学生・生徒：2.2%，パート・アルバイト：16.7%，会社員・従業員：40.5%，経営者・自営者：6.3%，国家公務員：0.4%，地方公務員：3.8%，団体職員：0.9%，その他：1.4%
- 【居住地】 長野県：12.5%，岐阜県：12.5%，静岡県：25.0%，愛知県：50.1%

調査の表題は「再生可能エネルギー事業に関する意識調査」とし、以下の内容で調査票を設計した。

- 【問 1】 再生可能エネルギーへの関心
- 【問 2】 バイオガス発電事業への関心
- 【問 3】 ボランティア活動（草刈り）への参加意向
- 【問 4】 ボランティア活動（草刈り）への参加条件
- 【問 5】 ボランティア活動（草刈り）への参加要素
- 【問 6】 仮想的なバイオガス発電事業に関する一対比較（1 回目）
- 【問 7】 仮想的なバイオガス発電事業に関する一対比較（2 回目）
- 【問 8】 個人属性（性別，年齢，居住地，職業，業種，世帯年収，各種活動の有無，調査内容の理解）

まず，調査の導入として，問 1～問 2 の質問を用意した。ここで，GET システムはバイオガス発電の一種であり，被験者がその内容を理解しやすくなるように，イラスト等を用いて説明した。

次に，問 3～問 5 において，稲わら回収ではなく，草刈りを想定したボランティア活動への参加について尋ねた。これは，GET システムが刈り取った雑草でも作動すること，また多くの被験者が稲わら回収より草刈りの方を身近に感じると思われることによるものである。

そして，問 6～問 7 が本調査の主要な質問である。具体的には，表-2 に示すような異なるプロフィールを持つ 2 つの仮想的なバイオガス発電事業を提示し，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。ここで，表-2 にある要素 A1・B1～A4・B4 について，表-3 に示すような水準を設定した。

表-2 仮想的なバイオガス発電事業に関する一対比較質問

まず，次のことを想定してください。

- 1) あなたのお住まいの近くに河川堤防や地区公園があると想定します。
- 2) 地域清掃の一環として行われる河川堤防や地区公園の『草刈り』については，地域住民が協力して実施すると想定します。
- 3) 刈り取られた草を原料とするバイオガス発電施設の設置・維持管理，刈り取られた草の運搬については，専門業者に委託すると想定します。
- 4) 発電施設から生み出される電気は行政施設で使用され，行政から電力会社に支払われる電気代が節約されると想定します。
- 5) 本事業によって節約された行政予算については，本事業への参加・協力の度合いに応じて，地域コミュニティ（自治会等）へ配分することもできます。

次に，以下のようなバイオガス発電事業 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。

【バイオガス発電事業 A】

①草刈りなどの清掃に必要な用具の支援
_____ A1

②事業によって節約された行政予算の配分
(地域コミュニティへの参加・協力度合いに比例)
_____ A2

③地域住民に求められる清掃作業の時間
(休日を想定)
_____ 1年間あたり A3

④清掃作業に対する謝礼の金額
_____ 1時間あたり A4

【バイオガス発電事業 B】

①草刈りなどの清掃に必要な用具の支援
_____ B1

②事業によって節約された行政予算の配分
(地域コミュニティへの参加・協力度合いに比例)
_____ B2

③地域住民に求められる清掃作業の時間
(休日を想定)
_____ 1年間あたり B3

④清掃作業に対する謝礼の金額
_____ 1時間あたり B4

【問 6】 上記のバイオガス発電事業 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. A と B のどちらにも協力してもよい
4. A と B のどちらにも協力したくない

表-3 要素 A1・B1～A4・B4 の水準設定

A1・B1:	2水準	…	なし, あり
A2・B2:	2水準	…	なし, あり
A3・B3:	3水準	…	1時間(年1回:春または秋), 2時間(年2回:春または秋), 4時間(年4回:春または秋)
A4・B4:	3水準	…	0円(飲み物は無料で提供), 500円(飲み物は無料で提供), 1,000円(飲み物は無料で提供)

最後に, 問 8 において, 被験者の個人属性(性別, 年齢, 居住地, 職業, 業種, 世帯年収, 各種活動の有無, 調査内容の理解)を尋ねた。

6. 社会的価値の計測

(1) 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-2に示すような一対比較質問の選択行動に関する同時確率関数(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。ここで, 各被験者に対して問6と問7で2パターン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通りの回答を解釈するため, パラメータ推定に用いる標本数は7,964件となる。

1. Aに協力してもよい

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

2. Bに協力してもよい

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

3. AとBのどちらに協力してもよい

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

4. AとBのどちらにも協力したくない

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

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。

(2) 評価モデルの推定

本研究の評価モデルのパラメータ推定に際し, 検討した説明変数は表-4に示すとおりである。

(3) 社会的価値の計測

前項(2)で推定したパラメータを式(4)に適用することにより, 当該事業のWTW関数が求められる。また, 同パラメータを式(5)および式(6)に適用することにより,

当該事業の社会的価値が計測される。これらの結果については, 現在精査中で未確定のため掲載できないが, 講演時に報告する。

表-4 説明変数の一覧

変数名	性質	内容
行政の物資支援	ダミー	あり=1, なし=0
行政の金銭支援	ダミー	あり=1, なし=0
作業時間	順序 カテゴリー	年間活動時間 (1時間, 2時間, 4時間)
謝礼金額	順序 カテゴリー	時間単価 (0円, 500円, 1,000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	被験者の世帯年収
環境保全活動	ダミー	
活動状況	ダミー	
地域組織活動	ダミー	無報酬で参加 or 寄付=1, 関わらなかった=0
職業関連組織活動	ダミー	
学校関連組織活動	ダミー	
再生可能エネルギー	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
関心度	順序 カテゴリー	
バイパス発電事業	順序 カテゴリー	
草刈りへの参加	順序 カテゴリー	

7. まとめ

本研究では, GETシステムによる電力を活用したビジネスモデルとして, 電気自動車をベースとした高齢者福祉タクシーの導入を提案し, その社会的価値の評価を試みた。本稿では, まだ結果を示すことができないが, 社会的価値が作業時間(年間活動時間)や謝礼金額(時間単価)などの関数で与えられることから, それらとの関係を詳細に分析して講演時に報告する。

謝辞: 本研究は, 日本学術振興会の科学研究費補助金・基盤研究(B)(研究課題: 持続可能な地域づくりに資する再生可能エネルギー事業の総合評価手法の開発, 課題番号: 18H03431, 研究代表者: 大野栄治)を受けた研究成果の一部である。ここに記して, 深甚の謝意を表したい。

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, 2014.