

特集

特集 1 地方消滅と田園回帰を考える

「再生可能エネルギーで山間地域に所得 1%を取り戻せるか？ — 小水力発電と木質バイオマスの薪利用を中心に —」

中山 琢 夫（京都大学大学院経済学研究科）

1. はじめに

2014 年 5 月、日本創生会議人口減少問題検討分科会は、「全国 1800 市区町村別・2040 年人口推計結果」を公表した。この結果によると、地方からの人口流出が続く前提下で、2040 年までに若年女性（20-39 歳）の人口が 50%以上減少し、消滅する可能性がある市区町村は全国に 896、そのうち人口が 1 万人未満で消滅の可能性が高い市区町村は 532 にのぼるという。つまり、全体のほぼ半数の市区町村が消滅の可能性があるというものである。

この、いわゆる「地方消滅論」は、多くの人々に衝撃を与え、議論を呼んだ。ところが、藤山（2015、99-129 頁）によると、毎年、地域人口の 1%程度の U・I ターンを増やして新たにとり取り戻すことで、長期的な人口安定化が展望できるという。この 1%の定住増を支える具体的な仕組みと活動を地域内に作ればよい。とりわけ、所得をどのように確保するのかという問題がある。

地域人口の 1%が新たに定住するために必要な所得増は、そこに住む人の平均所得を基準にするならば、それは地域全体の所得の 1%になる。毎年人口を取り戻すためには、毎年 1%ずつ取り戻してゆけばよいということに

なる（藤山、2015、132 頁）。

所得の 1%取り戻し戦略において、エネルギー部門は極めて重要である。電気に関していえば、今日主流となっている大規模な火力発電や、再稼働が始まろうとしている原子力発電によって作られた電気は、大手電力会社の送配電網を通してこうした会社から需要家に小売される。熱源もまた、こうした電気や海外から輸入されるガスによって賄われている。

このように域外から移輸入される電気やガスを、地域内に賦存する原材料を用いて再生可能エネルギーに置き換えることができれば、その分の所得を取り戻すことができるのである。太陽光・風・水・森林ならば、多くの地域に豊富に存在する。これらをもとに、再生可能エネルギーの固定価格買取制度を用いて売電あるいは自給すれば、とくにかつて小水力や薪炭を中心としたエネルギーの供給源であった中山間地域にも、富を取り戻すことが展望できる。

重要なのは、地域住民や地元企業、あるいは地方自治体といった主体が、自らリスクをとって事業を立ち上げることである。筆者らの「分散型再生可能エネルギーによる地域付加価値創造分析」の結果によると、新たに創

造される付加価値の大部分は、事業者の税引き後利潤である。つまり、事業者が域内の主体で担えなければ、その付加価値は域外に流出する（中山ら，2015；ラウパッハら，2015）。

本稿では、山間地域における小水力発電、木質バイオマスの熱利用について、高知県仁淀川町および仁淀川流域における取り組みを取り上げ、こうした事業によって、地域に所得を取り戻せる可能性を検証する¹⁾。

2. 山間地域における小水力発電

2.1. 高知県仁淀川町の概要

高知県仁淀川町は、高知県高知市と愛媛県松山市のほぼ中間に位置している。北部は四国山地の一部をなし、東西に仁淀川本流が横断している。仁淀川町は、東西に16 km、南北に29 kmであり、総面積は322.96 km²である。

人口は6,379人、世帯数は3,290世帯（平成25年6月1日現在）であるが、双方とも、毎月のように減少しており、「限界集落」のフィールドとして、しばしば取り上げられている地域である（大野，2008など）²⁾。

町内の標高は、最も低いところで100m、最も高いところで1800mであり、非常に急峻な地形であることがわかる。この急峻な地形において、集落は、川沿いや山麓、あるいは山腹に点在している。

高知県仁淀川町は、町の総面積の89.3%が山林で占められている。そのほかの土地利用状況は、農用地2.7%、住宅地0.4%、道路0.5%、その他7.1%である。さらに、川沿いに深くV字型をした峡谷が多いため、平地は少ない。

さらに、降雨量の多い当該地域は、その急峻な地形と相まって、小水力発電の適地が多

いことが示唆される。

図1は仁淀川町における産業別総生産額の内訳を示している。町内の面積の大部分を森林が占めているにも関わらず、林業の生産額の割合は、3.28%に過ぎず、その経済規模の零細さを伺い知ることができる。

仁淀川町におけるスギ・ヒノキ林のほとんどは、戦後の拡大造林政策によって植林されたものである。植林後、人口流出が激しく、手入れの届かない森林の多くは、林床に光が差すこともなく、単層化が進んでいる。これによってもたらされる、生物多様性の減少だけでなく、樹齢が進み、蒸散量の増加によって、森林が涵養する水の減少、つまり、「水涸れ」の問題は、地域の人々の悩みのひとつでもある。

小水力発電の売電益を、間伐等の森林の整備に再投資し、その生産額を向上させるとともに、その結果として、健全な森林が涵養され、沢に流れ出す水量が増加することで、さらに安定した小水力発電をねらいたい、という循環型社会の構築が、仁淀川町では考案されているのである（田内ら，2012）。

2.2. 高知県仁淀川町における小水力発電の歴史

明治・大正時代、小水力発電の導入・拡大期に、産業用として大規模化に向かう水力発電所と、各戸に明かりを灯すための小規模な水力発電所が併存して増加し、小さな設備が各地で数多く建設された（小林，2013，149-150頁）。そのことで、日本の水力発電技術は急速に成長し、大正末期までにほとんど確立したといわれている。雨が多く、急峻な地形の山間地域の仁淀川町でも、この時期から、

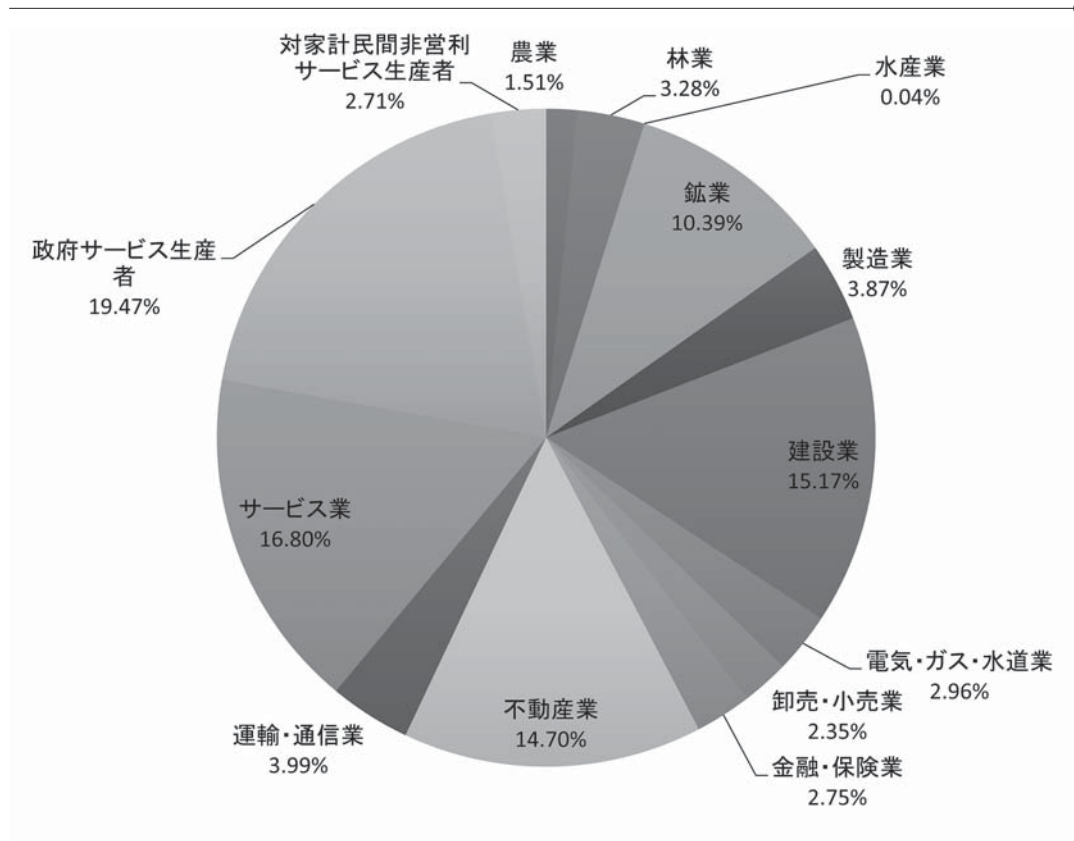


図1 仁淀川町の産業別総生産額（平成21年度）

出所）高知県統計課市町村経済統計より作成

実際に小水力発電事業が行われていた。

ひとつは、中津水力電気株式会社（名野川地区）、もう一つは、吾北水力電気株式会社（用居地区）である。

中津水力発電株式会社は、大正3年に、資本金5万円で設立されている。この会社は、その後、周辺の水力発電会社と、合併を繰り返し、県内最大の電力会社へと成長する（高知県統計書）。

大正6年には、北原水力電気株式会社（明治45年、資本金7万5千円で設立）に吸収合併される形で、200kW級の電力会社となっている。その後、北原水力電気株式会社は、大正10年に、高南電気株式会社（大正4年、

資本金4万円で設立）、須崎水力電気株式会社（明治44年、資本金10万円で設立）と合併し、土佐水力電気株式会社が設立されている。

その後、大正11年には、土佐水力電気株式会社は、土佐電気鉄道株式会社（明治36年、資本金100万円で設立）と発展的に合併し、土佐電気株式会社が設立されている。

このことは、高知市近郊を現在でも走り続けている路面電車が、大正の時代から、小水力発電によって生み出されたエネルギーによって、実際に走っていたことを示唆している。さらに、電力事業者としての土佐電気株式会社は、大正14年には、48,107戸に電力供給

しており、県内最大規模に成長していた。

仁淀川町における、もうひとつの小水力発電事業は、吾北水力発電株式会社によるものである。この電力会社の供給地域は、高知県と愛媛県との県境をなす、極めて山深い、仁淀川町用居地区である。まさに、「おらが村にも電灯を」（小林、2013、149頁）というタイプの、当時日本各地で盛んに作られた、地域の小さな水力発電所である。

表1に示すように、高知県統計書には、大正14年から昭和7年にかけて、各年末日時点での、吾北水力電気株式会社の営業記録がある。そこでは、電灯線路数、電灯線条数、街頭数、灯火引用（戸数・灯数）が記されている。

大正末期にはなかった街灯は、昭和2年には5つとなっており、その後安定している。また、灯火引用についても、昭和2年に398個と、最も多い数値を示していることから、本年度に、本格運用がはじまったことが伺える。

なお、昭和6年末日において、高知県内で16の電力事業者が記録されているうち、吾北水力電気株式会社による街灯、灯火引用数は、最も小規模であった。

2.3. 高知県仁淀川町における小水力発電の適地

今回、仁淀川町において抽出した地点は、安居土居地区吉ヶ成川と用居地区マサキ谷川で、いずれも普通河川である。

安居土居地区吉ヶ成川では、既存の砂防堰堤を利用する191kWの小水力発電事業が想定されている。吉ヶ成川の流域面積は、5.2km²である。現地調査により、101mの有効落差が取れることが明らかとなった。

最小期における現地での流量調査により、0.51 m³/sの流量が確認された。河川維持流量を考慮しつつ、近隣一級河川の流況曲線を用いながら、発電量を試算すると、年間で、1,210,000kWhの発電が可能であることが明らかとなった。また、周辺の道路設置状況等を勘案しながら、地域小水力発電株式会社は、総工事費を、281,000,000円と見積もっている（地域小水力発電株式会社、2013、5頁）。

仁淀川町用居地区マサキ谷川は、かつて、吾北水力電気株式会社によって、小水力発電事業が行われていた地点である。先述のとおり、昭和初期にはすでに、山深い用居地区の住居と街路に電灯が点っていたことが、各年度版高知県統計書によって示されている。

かつて、本電力株式会社の株主であったと

表1 吾北水力電気株式会社による電灯供給量

	電灯線路	電灯線条	街灯	灯火引用	
				戸数	灯数
大正14年末日	6	8	—	183	244
昭和2年末日	9	12	5	274	398
昭和3年末日	9	12	5	280	320
昭和6年末日	9	12	4	260	329
昭和7年末日	15	20	5	254	361

出所）各年版高知県統計書より作成

いう、地元住民からのヒアリングによると、太平洋戦争時の電力統制によって、吾北水力電気株式会社は消滅した、とのことである。

マサキ谷川では、地元のキーパーソンを交えた現地調査により、かつての取水堰を50メートル引き上げることが可能で、140mの有効落差がとれることが明らかとなった。ここでは、190kWの出力が推定されており、その流域面積は、2.4km²である。

最小期における現地での流量調査により、0.045 m³/sの流量が確認された。河川維持流量を考慮しつつ、近隣一級河川の流況曲線を用いながら、年間で、1,180,000kWhの発電が可能であることが明らかとなった。上述の吉ヶ成川と同様に、総工事費は、210,000,000円と見積もられている。(地域小水力発電株式会社, 2013, 6頁)。

小水力発電の導入ステップは、「地点の発掘/可能性調査」「基本設計」「実施設計(詳細設計)」「建設工事/完成」の4つに分類される(全国小水力発電利用推進協議会 HP)。これに従うと、吉ヶ成川、マサキ谷川ともに、有望地点であるだけでなく、現地調査によって経済性・実効性があることが分かった。また、測量、流量測定、概略図面の作成、工事費の算出等の基本設計を実施し、地元住民への説明会も行った。上記4ステップのうち、2ステップは完了している。

2.4. 小水力発電導入による地域電力自給率とCO₂削減量

本項では、小水力発電の導入による、地域電力自給率、CO₂排出削減量の推計を行う。

推計対象地点は、前項において述べたように、地域小水力発電株式会社との協働作業に

よって、適地として明らかとなった、安居土居地区吉ヶ成川と、用居地区マサキ谷川の2地点である。

2.4.1. 仁淀川町安居土居地区吉ヶ成川

【年間発電想定量】

仁淀川町安居土居地区では、吉ヶ成川において、191kW規模の小水力発電が可能であることが想定され、1年間あたり、1,210,000kWhの発電量が得られる見込みである。本流域における、一般的な家庭の平均的な消費電力量を3,000kWh/年³⁾とすると、403世帯分が賄えることになる。

【流域内電力自給率】

本発電事業が計画されている、吉ヶ成川流域には、坪井川地区6世帯、吉ヶ成地区1世帯、安居土居地区24世帯、合計31世帯が暮らしている⁴⁾。さらに、本流域における、一般的な家庭の平均的な消費電力量を、3,000kWh/年とすると、現在、この流域に必要な電力量は、

$$31 \text{ 世帯} \times 3,000 \text{ kWh} = 93,000 \text{ kWh}$$

となる。

つまり、年間ベースでの、本流域の電力自給率は、

$$\text{流域内電力自給率 (\%)} = \frac{\text{流域内供給量 (発電量)}}{\text{流域内需要量 (消費量)}} \times 100$$

で求められるから、

$$1,210,000 \div 93,000 \times 100 \div 1,301\%$$

が、達成されることになる。

【CO₂ 排出削減量】

一方、kWhあたりのCO₂排出量は、石炭火力発電において0.943kg-CO₂であるのに対し、水力発電においては、0.011kg-CO₂である⁵⁾。これまで、石炭火力発電によって生産されていた電力が、すべて、小水力発電によって代替される⁶⁾とすると、

CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

$$= (0.943 - 0.011) \text{ (kg-CO}_2\text{/kWh)} \times 1,210,000 \text{ (kWh/年)} \\ = 1,127,720 \text{ (kg-CO}_2\text{/年)}$$

が、達成されることになる。

2.4.2. 仁淀川町用居地区マサキ谷川

【年間発電想定量】

仁淀川町用居地区では、マサキ谷川において、190kW規模の小水力発電が可能であることが想定され、1年あたり、1,180,000kWhの発電量が得られることになる。さらに、本地域における、一般的な家庭の平均的な消費電力量を、3,000kWh/年²⁾とすると、393世帯分が賄えることになる。

【地域内電力自給率】

用居地区には、合計97世帯が暮らしている³⁾。本地域における、一般的な家庭の平均的な消費電力量を、3,000kWh/年⁴⁾とすると、現在、この流域で必要な電力量は、

$$97 \text{ 世帯} \times 3,000 \text{ kWh} = 291,000 \text{ kWh}$$

となる。

つまり、年間ベースでの、本流域の電力自給率は、

$$\text{地域内電力自給率 (\%)} = \text{地域内供給量 (発電量)} \div \text{地域内需要量 (消費量)} \times 100$$

で求められるから、

$$1,180,000 \div 291,000 \times 100 \div 405\%$$

が、達成されることになる。

【CO₂ 排出削減量】

一方、kWhあたりのCO₂排出量は、石炭火力発電において0.943kg-CO₂であるのに対し、水力発電においては、0.011kg-CO₂である。これまで、石炭火力発電によって生産されていた電力が、すべて、小水力発電によって代替される⁵⁾とすると、

CO₂ 排出削減量 (kg-CO₂/年)

$$= (0.943 - 0.011) \text{ (kg-CO}_2\text{/kWh)} \times 1,180,000 \text{ (kWh/年)} \\ = 1,099,760 \text{ (kg-CO}_2\text{/年)}$$

が、達成されることになる。

このように、小水力発電の導入によって、その事業性が明らかとなっただけでなく、当該山間地域が、エネルギー生産・供給地点となることができ、さらに、社会的なCO₂排出削減に、貢献できることが明らかとなった。

2.5. 小水力発電導入による地域経済波及効果

小水力発電をはじめとし、地域分散型再生

可能エネルギー事業の導入によって、当該地域の再生を目指そうするとき、その単一事業の合理性を担保することだけでなく、その地域の経済に、どの程度波及効果を及ぼすのか、ということは、重要な論点である。

本項では、想定される地域経済波及効果を推計する。

2.5.1. 地域経済波及効果の推定

地域産業連関表には、経済産業省の各地域局表の他に、地方公共団体の統計課が作成している都道府県表や市表もある。

このうち、複数の地域を対象にした表は、「地域間産業連関表」と呼ばれ、地域を越えた中間財取引も記述される。「地域間産業連関表」では、地域間での取引を、中間投入をも含めて詳細に記述する。

一方で、特定のある地域のみを対象にした地域表は、「地域内産業連関表」と呼ばれる(藤川, 2005, 197-201 頁)。

各都道府県では、1990 年以降、概ね 5 年毎に、地域産業連関表が作成されており、高知県版で入手可能な最新のものは、2005 (平成 17) 年度版の「地域内産業連関表」である。

2.5.2. 小水力発電による地域経済波及効果

第 2 節で示したように、高知県仁淀川町では、2 箇所の小水力発電導入の可能性が検討されている。

ここでは、建設期間を 1 年間として、建設段階、運用段階それぞれについて、1 年間の地域経済波及効果を試算した。

安居土居地区吉ヶ成川小水力発電の工事費は、281,000,000 円が見積もられている。しかし、このうちの半分程度は、実際に高知県

内で供給することのできない、水車本体等の需要に充てられることになる。そこで、県内需要を半額とし、「建設投資」⇒「土木建設」⇒「電力施設建設」部門に投入した。

直接効果は、消費や投資などの最終需要により生じる、最初の生産増加額であり、投入額と同一である。間接一次効果は、直接効果によって生じた投入によって、地域内各産業部門で誘発される生産額である。間接二次効果は、第一次波及効果(直接効果と間接一次効果)に伴って発生した雇用者所得が、新たな消費需要にまわり、それにより誘発された生産額を示す。高知県による試算では、直接効果と間接一次効果、間接二次効果を合計したものが、総合効果として示されている(高知県, 2010, 2 頁)。

したがって、本発電所建設事業において、高知県内におよぶ地域経済波及効果は、201,356,000 円となる。一方で、この発電所建設事業においては、合計 22 人の雇用が生まれる、と推定された。

一方、安居土居地区吉ヶ成川では、191kW の出力で、年間 1,210,000kWh の発電量が見積もられている。2013 年段階での「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(2013) 下では、調達期間の 20 年間は、35.7 円/kWh で売電することができるから、年間あたり、

$$\begin{aligned} &1,210,000\text{kWh} \times 35.7 \text{ 円/kWh} \\ &= 43,197,000 \text{ 円} \end{aligned}$$

の売電収入が望まれる。この額を、「電気・ガス・熱供給部門」に投入すると、本小水力発電事業によって、20 年間、高知県内にお

よぶ地域経済波及効果は、年間 63,684,000 円と推定される。同時に、発電段階での雇用者誘発数は、2 人と推定された⁷⁾。

もう一つの候補地である、用居地区マサキ谷川においても、同様の手法で、建設段階、発電運用段階において、高知県におよぶ、地域経済波及効果を推定することができる。

マサキ谷川小水力発電所の建設には、210,000,000 円が見積もられている。このうちの半分を、県内需要として「電力施設建設」部門に投入すると、高知県におよぶ地域経済波及効果は、150,480,000 円と試算され、16 人の雇用が誘発されることになる。また、発電運用段階においては、20 年間は、年間 62,103,000 円の地域経済波及効果と、2 人の雇用誘発効果が生まれることになる（中山、2013）。

2.6. まとめ

本節では、筆者の参与観察地である高知県仁淀川町における小水力発電事業を取り上げ、これまでに、実証的に得られた基礎的データと、「高知県産業連関表（40 部門）」を用いて、地域経済波及効果の試算を行った。

その結果、191kW クラスの小水力発電設備の建設段階において、201,356,000 円の地域経済波及効果と、22 人の雇用誘発効果が、発電運用段階においては、年間 63,684,000 円の地域経済波及効果と、2 人の雇用誘発効果が、高知県内に及ぶと試算された。

平成 23 年度の仁淀川町内総生産は、18,241,000,000 円（1）である⁸⁾。上記 2 カ所の発電運営段階における、1 年間の経済波及効果の合計は、125,787,000 円であるが、このうち、粗付加価値誘発額の合計は、

73,556,000 円（2）である。 $(2) \div (1) \times 100 \div 0.4\%$ となるから、概ね、この程度の規模の小水力発電所をもう 3 カ所作ることができれば、発電事業によって、20 年間は毎年 1%の域内所得を取り戻すことができることになる⁹⁾。

ただし、本分析では、県レベルでの産業連関表に基づいていることから、その地域経済波及効果は、県単位のものであり、再生可能エネルギー導入による、市町村レベルでの地域経済波及効果を示したものではないという限界がある。こうした、より小さなレベルでの、産業連関表の整備は、地域内産業の再構築を目指すために、重要な役割を果たすと考えられる。

市町村レベルでの産業連関表の整備は、政令指定都市が中心であったが、近年では、新たな地域政策に対する、産業おこしや雇用につなぐことができるツールとして、宮崎県綾町、宮崎県諸塚村、高知県梺原町、帯広市などで、その整備が進められている（入谷、2012）。

市町村単位の産業連関表作成には、確かに一定の手間とコストがかかるが、産業部門相互の連関を詳細に占める「行列式」としてでき上がると、様々な政策効果のシミュレーションが可能になる。今回の地方創生に関わる総合戦略策定費用により、自治体としての産業連関表を整備することが望まれる（藤山、2015、142-143 頁）。

一方、本稿における試算においても明らかに、小水力発電事業そのものは、直接的にはさほど大きな雇用を生まない。再生可能エネルギー事業によって生まれた富が、地域内に、あらたに再投資され、地域内産業

連関の基盤を再構築することで、はじめて、地域内経済循環の再生が成し遂げられるのである。

3. 木質バイオマスの薪利用

3.1. 山間地域におけるバイオマスの適正技術

急峻な地形の山間地域の仁淀川町において、山林は、その土地利用面積の89.3%を占める。この山林を、いかにうまく活用するかは、地域にとっての重要な課題である。

今日、木質バイオマス利用は、多くの中山間地域において重要な関心事となっている。国土面積の73%を占める中山間地域において、森林が占める面積は、その8割を超えている。現在蓄積されている森林資源を、どのように使えばいいかが問われている。

とりわけ、現在その利用方法として脚光を浴びているのが、燃料としての利用である。ここで重要なのは、地域住民が運営主体とされるかどうかである。適正な規模と技術で、エネルギーを地域内生産することで、地域内で資源と経済を循環させることが重要である。

木質バイオマスを利用し、ガス燃料化したり、発電する試みは、これまでも行われてきた。これらを事業化するための実験が10年ほど前から行われてきたが、多くの問題が生じ、失敗した事例も少なくない。

こうした事例では、林地残材（未利用材）といった原料となる資源が持続的に確保できないこと、プラントの運営技術があまりに高度であるため、地域主体では運営できない等、失敗要因が明らかになってきた（田内ら、2016、119頁）。

つまり、大規模かつ高度な技術を必要とす

るエネルギープラントは、多くの農山村コミュニティにとって、技術的・コスト的にハードルが高い場合も少なくない。

とりわけ重要なのは、林地残材（未利用材）を収集運搬する基盤となる林業や、その関連産業を動かす組織体制である。これが確立されていない地域では、大規模かつ継続的な資源供給は困難である。高知県仁淀川町およびその流域でも、その傾向は顕著である。本節では、こうした林業関連産業の蓄積の少ない地域でも運用できるような、地域資源を活用したバイオマス利用のあり方について検証する。

3.2. 木質バイオマス原料のエネルギー利用形態

木質資源由来の燃料には、大きく分けて3つの形態がある。具体的には、薪、チップ、ペレットである。

加工の容易さからみると、薪、チップ、ペレットの順番になる。逆に、自動化をはじめとして、今日的に利用しやすい形態は、ペレット、チップ、薪となる（吉田、2015）。

薪は、まさに端材等の木材を割ったものであるが、重量が重く、運搬費が高くつく。つまり、加工した場所から遠くに運ぶと、コストがかさむ事になる。

熱源としての薪は、伝統的にかまどによる煮炊きや風呂焚き、囲炉裏や暖炉による暖房などに使われてきた。しかし、1950年代になって燃料革命が起ると、手でくべる手間、煙、熱効率の悪さ等の要因から、次第に使われなくなる。

しかしながら、脱化石燃料の流れにしたがい、今日に至って、熱交換性能が向上し、排

煙の少ない高効率のボイラーやストーブが市販されるようになってきた。温浴施設の給湯用として、施設や家庭の熱源として、あらたに普及されようとしている。暖房用途では冬季に需要が偏るが、給湯用途では1年を通して需要がある。

薪ボイラーやストーブの構造は比較的簡単であり、高度な運転技術も必要としない。また、薪割り機の普及により、薪加工の省力化が可能となった。こうした技術は、地域の人たちによる持続的な運営の面からも適正技術であるといえる。

3.3. 山間地域の薪利用システム

燃料としての薪は、端材や切り捨て材といった未利用材が原料となる。この原料を薪として加工し、利用施設に運搬するとき、経費の最も大きな部分を占めるのが運搬費である。

もちろん、大型機械を用いて未利用材を収集し、大型トラックで運搬の方が収益性は

高い。しかしながら、個人規模のレベルでも、集落の近くにある土場を設け、運搬距離を10 km以内でシミュレーションすれば、副収入となることが分かった（鈴木ら、2014、鈴木、2014、鈴木ら2013）。

そのため、本項では、林業関連産業の集積がない、一般的な地域でも運用できる、小規模なエネルギー利活用体制を構築する。

この薪利用のモデルとなるのは、仁淀川流域の温浴施設に導入された薪ボイラー3台（70kW×3台=210kW）である。この温浴施設は年間2万人が利用しており、2011年度から灯油ボイラーの代替が行われた。ボイラーへの薪供給は人力で行わなければならないが、火持ちがよいため、実際の供給は1-2時間に1回である。この設備導入により、新たに年間200トン以上の薪需要が創出された。

3.4. 薪ボイラー導入によるCO₂削減効果

表2は、この薪ボイラーシステム導入によるCO₂排出削減効果を、原料生産、薪加工、

表2 薪ボイラー導入によるCO₂排出削減効果

項目	原料生産		薪加工		薪利用	合計
	収集・搬出	運搬	製造	運搬		
機材	チェーンソー等	軽トラック	薪割り機	軽トラック	薪ボイラー	
燃料	ガソリン	ガソリン	電気	ガソリン	薪・電力	
条件	残材玉切り	運搬距離	薪割り機	運搬距離	人力投入	
	人力車載	10km		10km		
CO ₂ 排出量	1.5	2.5	≒0	2.5	9.4	15.9
(t-CO ₂ /年)						
以前のCO ₂ 排出量			1.7		149.3	151.0
(t-CO ₂ /年)		(石油備蓄基地からの運搬分)			(灯油ボイラー)	

出所) 田内ら (2016) 125 頁

薪利用の各段階ごとに試算したものである。CO₂排出量は、薪の生産・利用のために必要なガソリン・電気・灯油の排出量原単位から求めている。なお、乾燥状態は天日乾燥、薪使用量は、年間210トン（生重）を基にしている。

薪加工（製造）の段階では、現場で実際に計測したところ、薪割り機による電力消費量は無視できるほど極めて少なかったことから、排出量は0としてカウントしている。

結果として、210kWの薪ボイラーシステムの導入によって、CO₂排出量は15.9t-CO₂/年となった。これは、灯油ボイラーを使用していた時の151t-CO₂/年と比較して、年間135tのCO₂の排出が削減されたことになる。言い換えると、約90%のCO₂排出量が削減されたことになる。

仁淀川町には、このほかに、同容量の薪ボイラー31台を導入する熱需要のキャパシティがある。薪ボイラー1基あたりのCO₂削減量は45t-CO₂となるから、町内全体で、約1400t-CO₂が削減される可能性がある。

3.5. 薪ボイラー導入による経済効果

薪をはじめとする木質バイオマスの熱利用によって、これまで化石燃料費支出として域

外に流出していた所得部分を、地域資源に置き換えることができる。所得が地域に留まる効果が期待されるのである。

具体的には、山林所有者やエネルギーの生産、流通、消費に関わる地元事業者の利潤、雇用者報酬、自治体への税収の形で、地域の実質所得を上昇させる効果が望まれる。この効果は、「資金還流効果」と呼ばれる。（諸富、2015、18頁）

本項では、この薪ボイラーシステムにおいて想定される、「資金還流効果」を試算する。前提条件は、薪買取価格4000円/t（生重）、燃油（灯油）価格84円/ℓである¹⁰⁾。また、チェーンソー、軽トラック、薪割り機、ボイラー等の償却期間は、法定耐用年数を適用している。

結果は、表3に示すとおりである。ここでいう域外支出には、各段階において必要となる、燃料代・電気代だけでなく、チェーンソー、軽トラック、薪割り機、ボイラー本体、周辺機器の減価償却費といった、地域外に支払われる費用が含まれている。

一方、域内収入とは、地域で働く従業員に支払われる賃金のことである。地域に残る（回る）お金、つまり域際収支が、域内収入から域外支出を差し引いたものとして計上されて

表3 薪ボイラーシステムにおける域際収支（70kW×3台=210kW）

項目	原料生産		薪加工		ボイラー利用	合計
	収集・搬出	運搬	製造	運搬	段階	
域外支出（万円）	2.7	42.6	11.1	42.6	371.3	470.
域内収入（万円）	17.9	83.6	62.4	134.6	72.0	371
域際収支（万円）	15.2	41.0	51.3	92.0	-299.3	-99

出所）田内ら（2016）127頁より作成

いる。

原料生産、薪加工の段階においては、燃料代・電気代・償却費を差し引いても、着実に地域に残るお金が増える「資金還流効果」が現れている。しかしながら、ボイラー利用段階においては、その施設等の償却費が大きい。ため、マイナスとなってしまう。これらを合計すると、2013年の段階では、薪ボイラーシステムにおける域際収支はマイナスとなる。

ところが、従来型の石油ボイラーシステムと比較してみると、域際収支は大幅に改善していることがわかる（表4）。石油ボイラーシステムの場合、原材料を海外に依存し、また精製・運搬の段階の大部分を域外企業が担っているため、当然域外支出額が多く、年間600万円を超えている。域内の従業員に支払われる給与も限定的で108万円ほどであるから、域際収支は年間512万円の赤字となる。

この差額、413万円／年は、石油ボイラーシステムから薪ボイラーシステム（70kW×3台）の転換により発生した、「資金還流効果」の一部であるといえる。

3.6. まとめ

前項で述べたように、仁淀川町には、このほかに同容量の薪ボイラー31台を導入する

熱需要のキャパシティがある。これらがすべて置き換えられるとすれば、年間あたり毎年4,278万円（138万円／台×31台）の「資金還流効果」が望まれる。これは、町内総生産の0.23%に該当する。

今回の試算対象は、公共の温浴施設や老人ホームだけであるから、熱源として家計部門にも導入が進めば、さらなる効果が望まれることになる。

4. おわりに

本稿の目的は、再生可能エネルギー事業によって、所得の1%を毎年取り戻せるかどうか、ということを検証することである。本稿では、高知県仁淀川町における190kW級の小水力発電2事業と、70kWの薪ボイラーシステム31台を導入した場合を想定し、生産面からのシミュレーションを通して検証した。

結論から言えば、この規模の小水力発電を5カ所作ることができれば、その可能性は高いといえる。小水力発電所建設の初期投資（設備投資）の段階を無視したとしても、運営・維持段階において、小水力発電2事業では、耐用年数の期間にわたって、毎年、町内総生産比（H23年度）で0.4%の新たな経済付加

表4 薪ボイラーシステム導入による「資金還流効果」（70kW×3台=210kW）

項目	従来 (石油ボイラー システム)	現在 (薪ボイラー システム)	資金還流効果
域外支出（万円）	620	470	150 万円／年
域内収入（万円）	108	371	263 万円／年
域際収支（万円）	-512	-99	413 万円／年

出所）田内ら（2016）127頁より作成

価値が生まれる。

また、31台の薪ボイラー（70kW）導入によって、減価償却費を差し引いても、耐用年数の期間にわたって、毎年、町内総生産比で0.23%の資金還流効果が生まれると試算された。

山間地域における再生可能エネルギー、とりわけ、小水力発電と木質バイオマス利用は、一体的に考えることが重要である。なぜならば、190kW級の流れ込み式小水力発電のもとなる安定した水量・水質は、小流域の森林の水源涵養機能に依存するからである。

この機能を損なわないような森林管理、つまり薪の燃料利用をすることは、小水力発電にとっても有意義である。このことは、小水力の売電益を地域の薪利用システムに再投資することが合理的であることを示している。

なお、本稿でとりあげた190kW級の小水力発電の普通河川の流域面積は、240haである。70kW×3台の薪ボイラーシステムの燃料供給に必要な森林面積は、200haである。したがって、これらをセットにして地域経済の循環系を構築すれば、持続可能な小水力発電と森林経営が可能になる。

再生可能エネルギーの地域経営を考える上で、地域主体が参入できるのは、本稿で取り上げたような発電事業やバイオマス熱利用だけではない。たとえばドイツでは、自治体が公社を設立し、配電部門や小売部門、さらにはリフォームを中心とした省エネ事業やESCO事業に再参入し、新たな付加価値創出の地域内バリューチェーンを構築しようとする取り組みが見受けられる（中山、2015）。

再生可能エネルギーによる地域の所得取り戻し戦略の可能性は、まだまだほかにも残っ

ているといえる。

注

- 1) 筆者は、平成23年度より平成25年度まで、独立行政法人科学技術振興機構（JST）社会技術研究開発センター（RISTEX）「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発領域の研究開発プログラムのうち、高知県仁淀川町で実施された、「Bスタイル：地域資源で循環型生活をする定住社会づくり」プロジェクト（主査機関：森林総合研究所四国支所）のプロジェクト付き研究員として、高知県仁淀川町に居住しながら、参与観察型の研究生を送った。
- 2) 大野晃は、高知県大豊町や、仁淀川町の前身のひとつである旧池川町を出発点として、全国の「限界集落」を歩き続けた（大野、2008、312頁）。
- 3) 小林ら（2010）34頁によると、一般家庭の平均的な消費電力量は、3,000から5,000kWh/年である。表2が示すように、当該流域における世帯あたりの平均住民人口が2人に及ばないこと、熱源には、薪などの木質エネルギーが多用されていることなどを勘案し、本流域における、一般的な家庭の平均的な消費電力量を、3,000kWh/年とした。
- 4) 仁淀川町住民基本台帳（集計基準日：平成24年12月31日）
- 5) 電力中央研究所（2010）
- 6) 電力事業連合会（2012）によると、2011年度、日本における電源別発電電力量構成比は、原子力：10.7%、石炭火力：25.0%、LNG火力：39.5%、石油等火力14.4%、水力：9.0%、地熱および新エネルギー1.4%である。全体の1/4を占め、かつ、CO₂排出量の多い石炭火力

発電を、再生可能エネルギーで代替することが、脱温暖化社会にとって有効であるから、ここでは、小水力発電によるCO₂排出削減量を、石炭火力発電比で求めた。

- 7) 本稿における試算では、水力発電は伝統的な電気産業であるから、これが生み出す直接効果と間接一次・間接二次効果は、既存の県レベルでの「電気・ガス・熱供給部門」の投入・産出構造と大きく変わらないものと仮定している。また、発電運用段階では、発電事業者、関連事業のサードパーティ共に、全て町内で賄われることを前提としている。再生可能エネルギーによる経済効果について、より精密な分析を要する場合には、「地域付加価値創造分析」が有用である（中山ら、2016）。
- 8) 高知県総務部統計課「平成23年度市町村経済統計の概要」（H26年6月）
- 9) 所得の増加を吟味する際には、GNI（国民総所得）のような域内総所得を用いることが望ましいと考えられるが、現時点で入手可能なデータセットがそろっていないため、本稿における議論では町内総生産を用いる。
- 10) 2013年の実績値による

参考文献

1. 入谷貴夫（2012）『地域と雇用をつくる産業連関分析入門』自治体研究社。
2. 大野晃（2008）『限界集落と地域再生』高知新聞社。
3. 高知県統計部統計課（2010）「高知県経済波及効果簡易分析ツール操作説明書」
<http://www.pref.kochi.lg.jp/uploaded/attachment/55270.pdf>
4. 小林久・戸川裕昭・堀尾正韮 監修 独立行政法人科学技術振興機構社会技術研究開発センター「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発領域地域分散電源等導入タスクフォース 編著（2010）『小水力発電を地域の力で』公人の友社。
5. 小林久（2013）「コミュニティ・エネルギーに挑む農山村 - 小水力発電を中心に -」室田武・倉阪秀史・小林久・島谷幸宏・山下輝和・藤本稯彦・三浦秀和・諸富徹編著『コミュニティ・エネルギー：小水力発電，森林バイオマスを中心に』農文協。
6. 全国小水力発電利用推進協議会 HP, <http://j-water.org/about/>
7. 鈴木保志・高村香菜子・渡辺靖崇・森大記・吉田貴紘・北原文章・中山琢夫・後藤純一（2014）「小規模分散型木質バイオマス燃料としての薪の精算供給システムと経費の検討」『森林利用学会誌』29（3），157-163 頁
8. 鈴木保志（2014）「小規模分散型木質バイオマス燃料の効率的な生産供給システムの構築」『機械化林業』（林業機械化協会）731，1-10 頁
9. 鈴木保志・村上晋平・後藤純一・中嶋健造・北原文章・垂水亜紀・中山琢夫・後藤純一・田内裕之（2013）「仁淀川町木質バイオマス利用事業における材出荷実態と出荷者の実収支の分析」『森林利用学会誌』28（1），41-50 頁
10. 地域小水力発電株式会社（2013）「小水力発電SPVの設立運営を地域主体で可能にするモデルの構築－報告書（概要版）－」。
11. 田内裕之（2012）『戦略的創造研究推進事業（社会技術開発）平成24年度研究開発実施報告書』研究開発プログラム「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発プロジェクト「Bスタイル：地域資源で循環型生活をする定住社会づくり」プロジェクト, <http://www.>

- ristex.jp/examin/env/program/pdf/H24houkoku_Tanouchi.pdf
12. 田内裕之・鈴木保志・吉田貴紘・垂水亜紀・北原文章・中山琢夫 (BスタイルPJ研究グループ) (2016)「薪から始める小規模システムの経済効果分析-地域主体のシステムづくり」林業改良普及双書 No.182『木質バイオマス熱利用でエネルギーの地産地消』全国林業改良普及協会, 118-134 頁)
 13. 電気事業連合会 (2012)「電源別発電電力量構成比」https://www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/afieldfile/2012/06/13/kouseihi_2011.pdf
 14. 電力中央研究所 (2010)「電源別ライフサイクル CO₂ 排出量を評価—技術の進展と情勢変化を考慮して再評価—」『電中研ニュース』No.468, 2010, August.
 15. 中山琢夫・ラウパッハ スミヤ ヨーク・諸富徹 (2016)「分散型再生可能エネルギーによる地域付加価値創造分析-日本における電源毎の比較分析-」『環境と公害』岩波書店, 第45巻第4号, 20-26 頁.
 16. 中山琢夫 (2015)「地域分散型再生可能エネルギー促進のための自治体の役割-ドイツにおける自治体公社による配電網の再公有化を中心に」諸富徹編著『再生可能エネルギーと地域再生』日本評論社, 171-188 頁
 17. 中山琢夫 (2013)「山間地域における小水力発電による地域経済波及効果-高知県における地域内産業連関分析」ディスカッションペーパーシリーズ No.13-B-1, 京都大学「分散型電力システムの制度設計と社会経済的評価, その地域再生への寄与に関する研究」プロジェクト, <http://ider-project.jp/stage1/feature/00000054/2.pdf>
 18. 藤川清史 (2005)『産業連関分析入門: Excel と VBA でらくらく IO 分析』日本評論社.
 19. 藤山浩 (2015)『田園回帰 1% 戦略-地元の人と仕事を取り戻す』農文協
 20. 諸富徹 (2012)「エネルギー自治と経済・産業構造ビジョン」『季刊 政策・経営研究』2012 Vol.3, 11-32 頁.
 21. 諸富徹 編著 (2015)『再生可能エネルギーと地域再生』日本評論社
 22. 吉田貴紘 (2015)「木質バイオマスエネルギーで地方創生」『季刊 森林総研』No.31, 4-5 頁
 23. ラウパッハ スミヤ ヨーク・中山琢夫・諸富徹 (2015)「再生可能エネルギーが日本の地域にもたらす経済効果: 電源毎の産業連鎖分析を用いた試算モデル」諸富徹編著『再生可能エネルギーと地域再生』日本評論社, 125-146 頁

謝辞

本稿の執筆にあたり, JSPS 科研費 15K21096, 15H01756 のご支援を受けた。記して謝意を表します。