

# 自然エネルギー利用による香美市の中山間地域 における収容可能世帯数の推定

木場 雄亮<sup>1</sup> 赤塚 慎<sup>2\*</sup> 高木 方隆<sup>2</sup>

(受領日：2016年5月9日)

<sup>1</sup> 高知工科大学システム工学群建築・都市デザイン専攻  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

<sup>2</sup> 高知工科大学システム工学群  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\* E-mail: akatsuka.shin@kochi-tech.ac.jp

要約：本研究は、香美市の中山間地域を対象として、木質バイオマスエネルギーと水力エネルギーを利用してそこで生活する場合に、その地域で供給できるエネルギー量と一世帯が生活するのに必要なエネルギー量との関係からその地域の収容可能世帯数を推定することを目的とした。木質バイオマスでは、森林の間伐材で建材として使わない部分を利用し、台所で調理用に使用する熱エネルギーを賅うことを想定した。流域毎に1年間で利用可能なバイオマス量を推定し、その量から年間期待確保熱量を推定した。その後、年間期待確保熱量と現在一世帯が台所で調理用に使用している年間エネルギー消費量とから各流域の収容可能世帯数を推定した。水力では、各流域の河川でマイクロ水力発電を行い、各家庭の電気使用量を賅うことを想定した。各流域の河川において流速を計測し、河川流量を推定した。その値から1ヶ月間の発電量を計算し、一世帯あたりの電気使用量と比較した。その結果、各流域で30世帯分以上の調理用熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賅うことが可能であったが、マイクロ水力発電では、1世帯分の電気使用量の2~3%しか賅うことができないことが明らかになった。

## 1. はじめに

高知県では県全体の面積の約93%が中山間地域とされている。中山間地域は経済的に不利な地域ではあるが自然資源が豊富であり、住民同士の信頼関係の構築もなされている。現在、中山間地域は、人口が著しく減少し、耕作放棄地や手入れのされていない山林が増加の一途をたどっているが、地域にある自然資源を有効利用しながら、コミュニティが持続できれば、極めて自立性の高い地域となる可能性があると考えられる。巷では、食料やエネルギーを自給できるようにすることで成り立つ里山で、マネーに依存しない新しい豊かさを求める「里山資本主義<sup>1)</sup>」が提唱されている<sup>2)</sup>。里山資本主義を実践することで、2060年には人口減少と里山の

耕作放棄地の利用促進により食料自給率が上昇し、エネルギーについても、安価な木質バイオマス燃料の利用により、その自給が可能になる<sup>1)</sup>と言われている。しかし、里山での生活にどれほどのエネルギーが必要とされるか、また、それを賅うためのエネルギーを里山が供給することができるかどうかの定量的な検討がなされているとは言い難い<sup>2)</sup>。

そこで本研究は、高知県香美市の中山間地域を対象として、木質バイオマスエネルギーと水力エネルギーを利用してそこで生活することを仮定した場合、その地域で供給できるエネルギー量と一世帯が生活するのに必要なエネルギー量との関係からその地域の収容可能世帯数を推定することを目的とした。

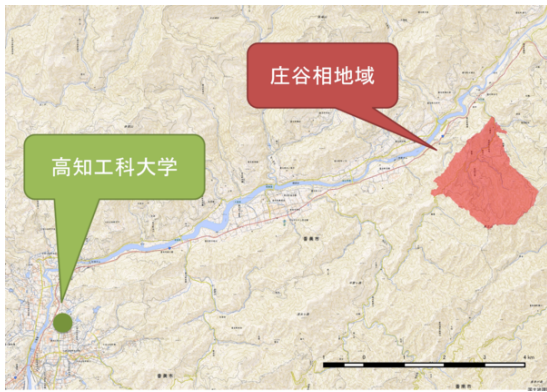


図 1. 対象地域

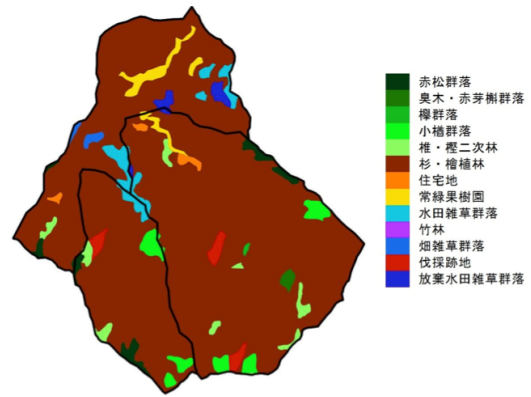


図 3. 対象流域の植生分布図

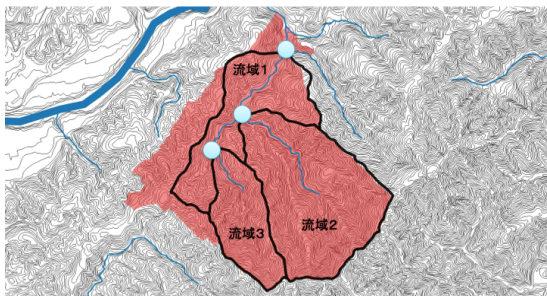


図 2. 対象流域

表 1. 各流域での杉・檜の樹木数の算定

	流域 1	流域 2	流域 3
流域面積 (ha)	87.92	166.85	62.82
杉・檜の樹木面積 (ha)	75.5	151.8	57.2
杉・檜の 樹木密度 (本/ha)	範囲 1	166	158
	範囲 2	179	173
	平均	173	166
杉・檜の樹木数 (本)	13024	25123	9838

## 2. 対象地域

対象地域は、高知県香美市物部町庄谷相地区とした(図 1)。人工林が多く、人口減少が著しい地区である。

本研究では、森林整備の基本的単位である流域毎に収容可能世帯数を推定することとした。

対象地域での流域分割には、川の合流点三ヶ所を基準とした。流域分割は、GIS ソフトの QGIS を使用し目視で行った。まず QGIS 上で、三つの河川の合流点と等高線地図を重ねる。そして山の尾根を線で繋げていき、線で繋がった一つの範囲を、一つの流域とした。対象範囲では三つの流域を作成できた。分割した三つの流域を図 2 に示す。

## 3. バイオマスエネルギーを利用した場合の収容可能世帯数の推定

### 3.1 バイオマスエネルギー利用について

本研究では、各流域において森林の間伐材で建材として使わない部分の木質バイオマスを利用し、台所で調理用に使用する熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賄うことを想定する。流域毎に 1 年間で利用可能なバイオマス量を推定し、その量から期待される 1 年間の確保熱量を推定する。その後、各流域の年間期待確保熱量と現在一世帯が台所

で調理用に使用している年間エネルギー消費量とから各流域の収容可能世帯数を推定する。

### 3.2 流域ごとの対象樹木数の算定

環境省の植生調査図<sup>3)</sup>をもとに対象流域の植生分布図を作成した。Google Earth と比較したところ、植生分布の違いが確認された。そのため、正確な分布を知る為に現地調査を行い、植生分布図を修正した。修正後の植生分布図を図 3 に示す。対象流域では主に杉・檜が占めていることがわかる。そこで本研究では建材に多く使われている杉・檜を対象とした。

次に、対象流域の面積と 1ha 当りの杉・檜の樹木数とから対象流域のバイオマス量を算出した。まず、各流域の面積を QGIS で求め、植生分布図にある杉・檜の範囲において、流域毎に Google Earth をもとに樹木が多いエリアと少ないエリアの樹木数をそれぞれ算出した。二つのエリア面積は 1ha とし、各エリアにある樹木を目視により数えた。本研究では二ヶ所の平均を流域の代表樹木密度として利用して杉・檜の樹木数を算定した。結果を表 1 に示す。

### 3.3 樹木重量の算出

杉・檜の一本当りの発熱量を推定するためには樹木重量を求める必要がある。まず、杉・檜の辺材と心材の平均的な比率及び胸高直径から、杉・檜のそ

表 2. 杉・檜の部材比率と胸高直径と樹高

	比率 (%)		胸高直径 (cm)	樹高 (m)
	心材	辺材		
杉	70	30	21	17
檜	80	20	18	13

表 3. 杉・檜の部位ごとの体積

	樹木体積 (cm <sup>3</sup> )		
	全体	心材	辺材
杉	5.88 × 10 <sup>5</sup>	2.88 × 10 <sup>5</sup>	3.00 × 10 <sup>5</sup>
檜	2.61 × 10 <sup>5</sup>	1.67 × 10 <sup>5</sup>	9.47 × 10 <sup>4</sup>

表 4. 杉・檜の乾燥重量

	気乾比重	乾燥重量 (kg)		
		全体	心材	辺材
杉	0.38	223.7	109.6	114.1
檜	0.41	107.2	68.6	38.6

表 5. 杉・檜の部位による発生熱量

	発生熱量 (cal/g)			
	心材	辺材	外樹皮	葉
杉	2000	1800	2500	2700
檜	1800	1700	2500	2400

それぞれの部位の断面積を算出し、さらに樹高より体積を算出した。計算に用いた杉・檜の辺材と心材の平均的な比率及び胸高直径、樹高の値<sup>4)</sup>を表2に示し、杉・檜一本当たりの体積を表3に示す。平均値は間伐考慮無しの樹木の数値である。次に、算出した杉・檜一本当たりの体積と、木材を乾燥させた時の重さと同じ体積の水の重さの比である気乾比重<sup>5,6)</sup>より、杉・檜一本当たりの乾燥重量を部位ごとに算出した。結果を表4に示す。

### 3.4 杉・檜の燃焼カロリーについて

杉・檜の部位ごとの乾燥重量と発生熱量(表5)<sup>7)</sup>から、樹木一本当たりの部位ごとの発熱量を計算した(表6)。杉・檜、心材・辺材の発熱量をそれぞれ比較すると、檜の辺材の発熱量の値が最も小さかった。そこで、本研究ではこの数値を用いて期待される年間の確保熱量を計算し、収容可能世帯数を推定することとした。

### 3.5 一世帯の年間エネルギー消費量

本研究では、木質バイオマスエネルギーで賄う対象を、台所で使用するガスコンロによるエネルギー消費量のみとした。消費者庁の第8次国民生活審議

表 6. 杉・檜一本当たりの部位ごとの発熱量

	発熱量 (kcal/本)	
	心材	辺材
杉	2.19 × 10 <sup>5</sup>	2.05 × 10 <sup>5</sup>
檜	1.23 × 10 <sup>5</sup>	6.56 × 10 <sup>4</sup>

表 7. 収容可能世帯数の推定

	流域 1	流域 2	流域 3
1年間に利用 する杉・檜の 樹木数(本)	434	837	328
年間期待確保 熱量(kcal/年)	2.85 × 10 <sup>7</sup>	5.49 × 10 <sup>7</sup>	2.15 × 10 <sup>7</sup>
収容可能世帯数	41	79	31

会総合政策部会報告書<sup>8)</sup>によると平均所得世帯の台所でのガスコンロ使用による年間エネルギー消費量は 6.90 × 10<sup>5</sup> kcal/年であった。

### 3.6 収容可能世帯数の推定

樹木の成長を考慮して各流域内にある樹木の30分の1を1年間で間伐して利用していくものとする。流域ごとに1年間に利用可能な杉・檜の樹木数(PTN)を算出した後、一本あたりの檜の辺材熱量(C<sub>QH</sub> = 6.56 × 10<sup>4</sup> kcal/本)を乗ずることで、期待される年間の確保熱量(PQH)を式(1)で算出する。さらに一世帯が台所で調理用に使っている年間エネルギー消費量(AEC<sub>H</sub> = 6.90 × 10<sup>5</sup> kcal/年)を使い式(2)から対象流域の収容可能世帯数(CH<sub>B</sub>)とする。算出結果を表7に示す。

$$PQH = PTN \times C_{QH} \quad (1)$$

$$CH_B = PQH \div AEC_H \quad (2)$$

この結果、庄谷相地区の各流域において森林の間伐材で建材として使わない部分の木質バイオマスを利用し、台所で調理用を使用する熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賄うことを想定した場合、各流域で30世帯分以上の調理用熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賄うことが可能であることがわかった。本研究では檜の辺材の発熱量を利用して期待される年間の確保熱量を算出したが、杉の辺材は檜に比べて二倍以上の発熱量があるため、杉の辺材も利用することによる年間期待確保熱量の増分が期待でき、収容可能世帯数の増加も予想される。

表 8. 各流域の流速

	流域 1	流域 2	流域 3
1 回目 (m/s)	$305.5 \times 10^{-3}$	$356.7 \times 10^{-3}$	$401.6 \times 10^{-3}$
2 回目 (m/s)	$306.2 \times 10^{-3}$	$355.5 \times 10^{-3}$	$400.8 \times 10^{-3}$
3 回目 (m/s)	$305.7 \times 10^{-3}$	$355.8 \times 10^{-3}$	$401.7 \times 10^{-3}$
平均流速 (m/s)	$305.8 \times 10^{-3}$	$356.0 \times 10^{-3}$	$401.4 \times 10^{-3}$

表 9. 各流域の河川の推定流量

	流域 1	流域 2	流域 3
平均流速 (m/s)	$305.8 \times 10^{-3}$	$356.0 \times 10^{-3}$	$401.4 \times 10^{-3}$
断面積 (m <sup>2</sup> )	3.723	2.022	1.732
流量 (m <sup>3</sup> /s)	1.14	0.72	0.70

#### 4. 水力エネルギーを利用した場合の収容可能世帯数の推定

##### 4.1 マイクロ水力発電について

マイクロ水力発電とは水力発電の一部で、100kW以下の発電設備を使った発電のことである。簡易な機械での発電が可能である。例としてはプロペラ水車や螺旋水車というものがある。本研究では各流域を流れる河川において、流速と河川断面図を計測し河川流量を推定する。その後、それらの値を用いてマイクロ水力発電を行った場合の発電出力を計算する。さらに、1ヶ月間の発電量を計算し、一世帯あたりの月間電気使用量と比較することで、各流域の収容可能世帯数を検討した。

##### 4.2 各流域の河川における流量の推定

河川の合流点三ヶ所で流速と断面図の計測をした。まず三ヶ所で各三回ずつ流速を計測した。三ヶ所にはそれぞれ橋が架かっており、橋桁の上から計測を行った。

流速測定は、まず発泡スチロールを括った糸を川に垂直に下す。その時の糸の長さを記録する。次に落とした位置から五秒間発泡スチロールを流す。五秒間で糸を止め、その位置での糸の長さを記録する。これにより進んだ距離と、計測時間五秒を用いて流速を計算した。その計測結果と三回の平均を表 8 に示す。また計測した位置の河川の深さを、目盛付スタッフを使い 50cm 間隔で計測して断面図を作成した。各河川の断面積と断面形状を図 4 に示す。これらの計測は 2016 年 1 月 23 日に行った。対象地に近いアメダス観測点（高知県大栃）における計測日前 1ヶ月間の降水量の積算値は 32.5mm であった。12 月と 1 月の大栃における月積算降水量の平年値

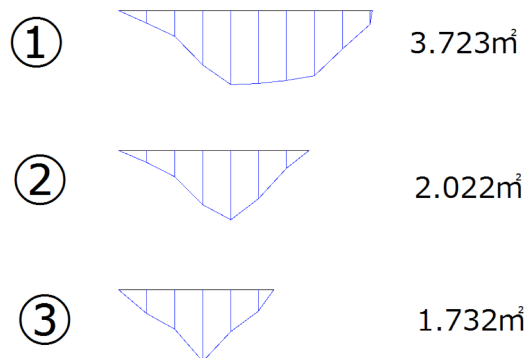


図 4. 各河川の断面図 ((1) 流域 1 の河川、(2) 流域 2 の河川、(3) 流域 3 の河川)

はそれぞれ 72.5mm と 74.0mm であることから、今回計測を行った時期は平年に比べて降水量が少なかったと考えられる。

計測した流速  $V$  と断面積  $A$  より、三点それぞれの流量  $Q$  を式 (3) で算定した。算定した結果を表 9 に示す。

$$Q = V \times A \quad (3)$$

##### 4.3 マイクロ水力発電での発電量の算出

発電量を求めるために、まず計測した流速  $V$  から各河川の有効落差  $H$  を式 (4) でそれぞれ算出した。この式は、発電地点の上下流に落差がない場合の有効落差の計算式であり、 $g$  は重力加速度 (9.8 m/s<sup>2</sup>) である<sup>9)</sup>。次に、式 (5) により、各河川での発電出力  $P$  を算出した。このとき、発電効率  $\eta$  を 0.4 とした<sup>10)</sup>。次に、式 (3) で求めた流量が 1ヶ月間維持されると仮定して、式 (6) から 1ヶ月間の発電量  $E_p$  を

表 10. 流域ごとの 1ヶ月間の発電量

	流域 1	流域 2	流域 3
有効落差 (m)	$4.77 \times 10^{-3}$	$6.47 \times 10^{-3}$	$8.22 \times 10^{-3}$
発電出力 (kW)	$2.13 \times 10^{-2}$	$1.83 \times 10^{-2}$	$2.26 \times 10^{-2}$
1ヶ月間 の発電量 (kWh)	15.8	13.6	16.8

表 11. 一世帯あたりの電気使用量 (kWh)

月	2012年	2013年	2014年	平均
1	558.6	567.9	561.2	562.6
2	596.9	578.7	575.9	583.8
3	561.4	543.0	560.6	555.0
4	512.4	456.7	475.1	481.4
5	433.4	410.4	396.6	413.5
6	355.1	344.3	342.8	347.4
7	342.3	353.6	332.3	342.7
8	412.7	424.1	392.0	409.6
9	439.5	444.0	391.8	425.1
10	380.6	373.9	352.3	368.9
11	364.8	371.7	349.1	361.9
12	444.1	425.8	408.1	426.0

推定した(表 10)。このとき、 $D$  は 1ヶ月間の日数であり、 $D = 31$  とした。

$$H = V^2 \div 2g \quad (4)$$

$$P = g \times Q \times H \times \eta \quad (5)$$

$$E_p = P \times 24 \times D \quad (6)$$

#### 4.4 収容可能世帯数の推定

2012年から2014年の各月の一世帯あたりの電気使用量を表 11 に示す<sup>11)</sup>。この表から、寒い時期の電気使用量が比較的多いことがわかる。今回、流速計測を行った1月の電気使用量の3年間の平均は562.6kWhである。式(6)から求めた1ヶ月間の発電量と比較したところ、マイクロ水力発電は一世帯の電気使用量の2~3%しか賅うことができないことが明らかになった。今回、各河川の流速及び断面を計測した時期は降水量の少ない時期であり、寒い時期は電気使用量が多いため、このような結果になったと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、高知県香美市物部町庄谷相地区を対象として、木質バイオマスエネルギーと水力エネルギーを利用してそこで生活することを仮定した場合、その地域で供給できるエネルギー量と一世帯が生活するのに必要なエネルギー量との関係からその地域の収容可能世帯数を推定した。

庄谷相地区の各流域において森林の間伐材で建材として使わない部分の木質バイオマスを利用し、台所で調理用に使用する熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賅うことを想定した場合、各流域で30世帯以上の調理用熱エネルギーを木質バイオマスエネルギーで賅うことが可能であることがわかった。

一方、庄谷相地区の各流域の河川でマイクロ水力発電を行った場合、1世帯分の電気使用量の2~3%しか賅うことができないことが明らかになった。これは、河川流量が少なくかつ電気使用量の多い冬季の値であり、降雨が多く比較的暖かい時期はもう少し多くの電気使用量をマイクロ水力発電により賅うことができると考えられる。

## 文献

- 1) 藻谷浩介, NHK 広島取材班, “里山資本主義 日本経済は「安心の原理」で動く”, 角川新書, 2013.
- 2) 久保田宏, “誤解を招く里山生活でのエネルギー自給”, NPO 法人国際環境経済研究所ホームページ. (URL=<http://ieei.or.jp/2013/11/bookreview131111/>)
- 3) 環境省, “植生調査図 GIS データ (1999年)”. (URL=<http://www.biodic.go.jp/trialSystem/shpddl.html>)
- 4) 中川一, 川尻秀樹, 中林幹夫, “スギ・ヒノキ人工林における直径階別収穫量の推定について”, 岐阜県林業センター研究報告書, 18, pp. 1-22, 1990.
- 5) 日本木材総合情報センター (杉の気乾比重). (URL = <https://www.jawic.or.jp/kurashi/jtree/s10-sugi.php>)
- 6) 日本木材総合情報センター (檜の気乾比重). (URL = <https://www.jawic.or.jp/kurashi/jtree/s15-hinoki.htm>)
- 7) 岡田敏章, “木質系バイオマスの燃焼特性”, 高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻物質・環境システム工学コース修士論文, 2004.

- 8) 消費者庁, “第 8 次国民生活審議会総合政策部会報告書”. ( URL=[http://www.caa.go.jp/seikatsu/shingika-i2/kako/spc08/houkoku\\_a/spc08\\_houkoku\\_a1-3\\_2.html](http://www.caa.go.jp/seikatsu/shingika-i2/kako/spc08/houkoku_a/spc08_houkoku_a1-3_2.html) )
- 9) 国土交通省, “小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック ver.1”, 2103.
- 10) かんでんエンジニアリングホームページ. ( URL=<http://www.kanden-eng.co.jp/special/suiryoku/cont01.html> )
- 11) RecoD エネルギープレス. ( URL = <http://www.recod.jp/epress/家族の電気代の平均ってどのくらい?/> )

# Estimation of the Capacity of Households in a Hilly and Mountainous Area in Kami City Based on the Use of Natural Energy

Yusuke Koba<sup>1</sup> Shin Akatsuka<sup>2\*</sup> Masataka Takagi<sup>2</sup>

(Received: May 9th, 2016)

<sup>1</sup> Architecture and Infrastructure Systems,  
School of Systems Engineering, Kochi University of Technology  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

<sup>2</sup> School of Systems Engineering, Kochi University of Technology  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

\* E-mail: akatsuka.shin@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** The purpose of this study is to estimate the capacity of households in a hilly and mountainous area in Kami City, Kochi Prefecture, when peoples live there by using woody biomass energy and hydro-energy, which are sourced from the area. Firstly, we estimated the amount of annual utilizable woody biomass in each drainage basin, and estimated the annual potential heat quantity by converting it to heat energy. Then we estimated the capacity of households by comparing the annual potential heat quantity with heat energy consumption of cooking by a general household. Secondly, we estimated the utilizable water power if we install micro-hydropower facility in the river of this area. Then we estimated the capacity of households by comparing the utilizable water power with the electric consumption of a general household. As the result, it was revealed that the woody biomass energy in the area could cover the heat energy consumption of cooking for over 30 households. However, water power by micro-hydropower facility in the area could cover only 2 – 3 % of the electric consumption in a general household.