

自然エネルギー利用を考慮した 中山間地域における収容可能世帯の推定

1160062 木場 雄亮

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

本研究は、バイオマスエネルギーと水力エネルギーを利用して生活することを仮定した時、対象地域での収容可能世帯数の推定をすることが目的である。なお、ここでバイオマスエネルギーは、電気エネルギーに変換するのではなく、台所での燃焼エネルギーに直接利用することとする。対象地域は、高知県香美市物部町庄谷相地域とした。非常に人工林が多く、人口減少が著しい地区である。

本研究では、対象地域の GIS データと Google Map を用いて樹木数を求め、現地調査により河川の流量を求めた。その後辺材を用いた場合のバイオマスエネルギーと水力エネルギー利用時の各流域の収容可能世帯数をまとめた。結果、320k m²の面積に対してバイオマスでは約 150 世帯の収容力が見込まれた。在住世帯が 15 であることを考えると約 10 倍の収容力があることになる。精度の良い推定を行うためには、樹木数と樹高を実測する必要がある。LiDAR や SfM, UAV を用いた高精度の樹木バイオマス計測に期待したい。

Key Words: バイオマス, マイクロ水力発電, 自給自足

1. はじめに

高知県は農林水産省によると森林率が 84% であり、バイオマスが多く存在する。しかしほとんどで間伐を行っていない。

高知県宿毛市にはバイオマス発電の研究所があり、木質バイオマス発電事業をしている。そこでは、バイオマス燃料を利用した時の特定範囲での利用可能人口の推定が課題となっている。

一方、最近では小型機械での水力発電が可能になった。特に小規模なものでマイクロ水力発電がある。これは河川に小型機械を設置するだけで電力の供給ができる。マイクロ水力発電で得た電力より、日常生活で消費する電気量を供給できる。

そこで本研究は、バイオマスエネルギーと水力エネルギーを利用して生活することを仮定した時、対象地域での収容可能世帯数の推定をすることが目的である。なお、ここでバイオマスエネルギーは、電気エネルギーに変換するのではなく、台所での燃焼エネルギーに直接利用することとする。

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

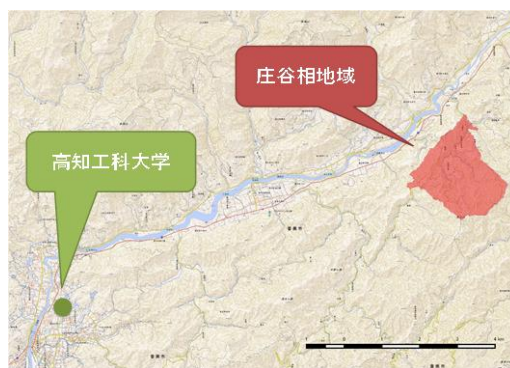


図-1 庄谷相地域

2. 対象地域と流域分割

対象地域での自然エネルギー利用の範囲を定めるため流域分割をした。流域は水力発電を考慮し、川の合流点を基準にした。

対象地域での流域分割は、川の合流点三ヶ所を基準とした。分割した三つの流域を図-2 に示す。流域分割は、QGIS ソフトを使用し目視で行った。まず QGIS にて、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。対象範囲で三つの流域を作成した。

三つの流域の総面積は 317.59k m²であった。



図-2 作成した流域図

3. バイオマスエネルギー利用における収容可能世帯

(1) バイオマスエネルギー利用について

本研究では、森林の間伐材で建材として使わない部分のバイオマスを使用し、台所の燃焼エネルギーの代用として使うことを仮定する。

(2) 流域ごとの植生分布図の作成

樹木の判別を行った。まず対象流域をもとに植生分布図を作成した。環境省の植生調査図をもとに対象流域の植生分布図を作成したところ、Google Earthと比較すると、植生分布図では樹木がある所が伐採跡地になっていることが判明した。そのため、正確な分布を知る為に現地調査を行い、植生分布図の修正をした。調査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。

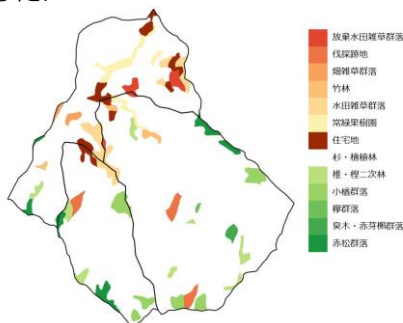


図-3 植生分布図

(3) 流域ごとの対象樹木数の算定

対象流域の面積と 1ha 範囲の杉・檜の樹木数から対象流域のバイオマス量を算出する。そのために、まず各流域の面積を QGIS で求めた。次に植生分布図にある杉・檜の範囲で、各流域で Google Earth を

もとに樹木が多い箇所と少ない箇所の二ヶ所を設けた。その二ヶ所で、その点を中心とした 1ha の範囲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する。そして、杉・檜の樹木数を算定した。結果を表-4に示す。

表-4 樹木数の算定

流域	1	2	3
全体面積(ha)	87.92	166.85	62.82
杉・檜の樹木面積(ha)	75.5	151.8	57.2
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

(4) 樹木重量の算出

杉・檜の燃焼カロリー値推定のため樹木重量を求める。まず、対象樹木の辺材と心材の平均的な比率と胸高直径、樹高は岐阜県の資料[3]を用いた(表-5)。平均値は間伐考慮無しの樹木の数値である。

表-5 樹木の部材の比率と胸高直径と樹高

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

表-5 の胸高直径から杉・檜の断面積を算出する。更に樹高より体積を算出する。結果を表-6に示す。

表-6 対象樹木の部位ごとの断面積

樹木	胸高直径(cm)		樹木断面積(cm ²)			樹木体積(cm ³)		
	心材	辺材	心材	辺材	全体	心材	辺材	
杉	14.7	6.3	346.4	169.7	176.6	5.88 × 10 ³	2.88 × 10 ³	3.00 × 10 ³
檜	12.8	3.2	201.1	128.7	72.4	2.61 × 10 ³	1.67 × 10 ³	9.41 × 10 ²

樹木の体積が算出されたので、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より、乾燥重量を部位ごとに算出する。結果を表-7に示す。

表-7 杉・檜の乾燥重量

樹木	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

(5) 対象樹木の燃焼カロリーについて

岡田による研究成果[4]から得られる、杉・檜の部位ごとの乾燥重量当たりの燃焼カロリー値を表-8に示す。1calあたりの係数は4.2となる。

表-8 杉・檜の部位による発熱量

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

各カロリー一値を参考に、杉・檜それぞれの辺材と心材の発熱量を算出する。その結果を表-9に示す。

比較すると、檜の辺材が最小値であるため、今回はこの数値で収容可能世帯数を算出していく。

表-9 樹木の部位ごとの発熱量の推定

樹木	発熱量(kcal/kg)		樹木熱量(kcal/本)	
	心材	辺材	心材	辺材
杉	2000	1800	2.19×10^5	2.05×10^5
檜	1800	1700	1.23×10^5	6.56×10^4

(6) 一家庭のエネルギー消費量

エネルギー消費の対象は、本研究では台所のガスコンロのみとする。東京ガス[5]による資料より、一世帯の平均的な年間の消費量を設定した(表-10)。

表-10 一家庭あたりの年間エネルギー消費量

対象	消費量(kcal/年)
台所のガスコンロ	5.30×10^5

(7) 収容可能世帯の推定

杉・檜の平均的な成長が30年とされている。樹木の成長を考慮して1/30の樹木を1年間で間伐使用していくものとする。

流域ごとに1/30杉・檜の樹木数を算出した後、一本あたりの檜の辺材熱量をから、期待される年間の確保熱量を式(a)で算出する。更に表-10の一家庭あたりの年間消費量を使い式(b)で算出し、その結果を対象流域の収容可能世帯数とする。算出結果を表-11に示す。

$$\begin{aligned} \text{期待確保熱量} &= 1/30 \text{杉・檜の樹木数} \times \text{樹木熱量} \dots(a) \\ \text{収容可能世帯} &= \text{期待確保熱量} \div \text{年間消費量} \dots(b) \end{aligned}$$

表-11 収容可能世帯の推定

流域	1	2	3
1/30杉・檜の樹木数(本)	434	837	328
樹木燃焼(kcal/本)	6.56×10^4		
期待確保熱量(kcal)	2.85×10^7	5.49×10^7	2.15×10^7
年間消費量(kcal/年)	5.30×10^5		
収容可能世帯	54	104	41

本研究では檜の辺材を利用して算出したが、杉の辺材は二倍以上の発熱量があるため、杉が含まれることによる増分も期待される。

4. マイクロ水力発電の利用における収容可能世帯

(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、200kWh

未満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。本研究では効率の悪い螺旋水車で発電をした時の発電量を求め、収容可能世帯数を推定する。

(2) 流域内河川の流速計測と断面図作成

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算出し、流速とした。

その計測結果と三回の平均を表-12に示す。

表-12 各流域の流速

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

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、更に幅を計測して断面図を作成した。断面の大きさと断面形状を図-13に示す。断面は雨が少ない晴天時(2016年1月23日)に計測したものである。

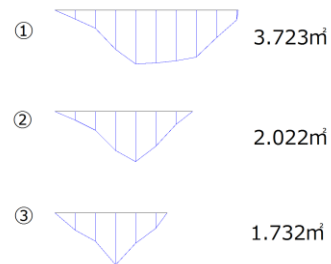


図-13 各河川の断面図

(3) 各流域の河川における流量の算定

計測した流速と断面積より、三点それぞれの流量を式(c)で算定した。算定した結果を表-14に示す。流量は発電で得られる電力の算定に必要となる。

$$\text{流量} = \text{流速} \times \text{断面積} \dots(c)$$

表-14 算定した流量の結果

流域	1	2	3
流速平均(m/s)	305.8×10^{-3}	356.0×10^{-3}	401.4×10^{-3}
断面積(m²)	3.723	2.022	1.732
流量(m³/s)	1.14	0.72	0.70

(4) 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、まず計測した流速から有効落差を式(d)で算出した。河川の摩擦を考慮し、計測したポイントが自然溪流で、その時の摩擦係数 f は参考文献 6)より得た。また発電機による発電量は異なることを考慮して、最低値の発電機を利用した時の発電効率 η を参考文献 7)より得た。以上の数値と係数より、理論水力を各流域で式(e)にて算出した。その結果を表-15に示す。

$$\begin{aligned} \text{有効落差} &= (\text{流速})^2 \times 19.6 (\text{重力加速度} \times 2) \quad \dots(d) \\ \text{理論水力} &= \text{流量} \times \text{有効落差} \times \text{摩擦係数} f \times \text{発電効率} \eta \quad \dots(e) \end{aligned}$$

表-15 流域ごとの発電力の推定

流域	1	2	3
有効落差(m)	4.77×10^{-3}	6.47×10^{-3}	8.22×10^{-3}
摩擦係数 f	0.45		
発電効率 η	0.4		
理論水力(kW)	2.13×10^{-2}	1.83×10^{-2}	2.26×10^{-2}

(5) 一世帯あたりの電力の推定

一世帯あたりの消費電力は参考文献 8)より得た。月ごとに電気の使用量が異なる為、本研究では最高値である月の値を利用した。

表-16 一世帯あたりの消費電力

(kWh)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2012年	558.6	596.9	561.4	512.4	433.4	355.1	342.3	412.7	439.5	380.6	364.8	444.1

(6) 収容可能世帯の推定

表-15で算出された理論水力より、発電量を式(f)で算出し、そして一世帯あたりの消費電力から、収容可能世帯を式(g)で算出した。結果を表-17に示す。

どの流域も、一世帯を補えるほどの電気量を供給することが難しいことが分かった。

流域ごとの差は、上流と下流では水量に差があり、断面積が異なっていることと、流域面積の違いが要因であると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{発電量} &= \text{理論水力} \times 60 (\text{秒}) \times 60 (\text{分}) \quad \dots(f) \\ \text{収容可能世帯} &= \text{発電量} \div \text{消費電力} \quad \dots(g) \end{aligned}$$

表-17 流域ごとの収容可能世帯の推定

流域	1	2	3
理論水力(kW)	2.13×10^{-2}	1.83×10^{-2}	2.26×10^{-2}
発電量(kWh)	15.8	13.6	16.8
消費電力(kWh)	596.9		
収容可能世帯	0.03	0.02	0.03

本研究では、渇水期に流れる河川での発電量を算出した。そのため、梅雨時期である6月7月の雨量が多い月は流量の増分が予想される。雨量のシミュレーションをすることによって、増分の流量算出の高精度化が期待される。

5. 結論と考察

本研究では、対象地域のGISデータとGoogle Mapを用いて樹木数を求め、現地調査により河川の流量を求めた。その後辺材を用いた場合のバイオマスエネルギーと水力エネルギー利用時の各流域の収容可能世帯数をまとめた。(表-18)

各流域に在住している世帯をGoogle Earthを使い、住宅の戸数から割り出した。在住の世帯を考慮してみても、余裕があることがわかった。よって、バイオマス量と水力エネルギーでの自給が可能と思われる。

本研究では自然エネルギーとして、バイオマスと水力の利用に着目して収容可能世帯を推定した。バイオマス利用に限っては、建材として使えない辺材のみで推定をしても、十分な収容数を見込めた。

精度の良い推定を行うためには、樹木数と樹高を実測する必要がある。LiDARやSfM, UAVを用いた高精度の樹木バイオマス計測に期待したい。

表-18 収容可能世帯数

流域	1	2	3
バイオマス燃料利用の収容可能世帯数	54	104	41
マイクロ水力発電利用の収容可能世帯数	0.03	0.02	0.03
二項目を考慮した収容可能世帯数	0.03	0.02	0.03
現在の流域ごとの世帯数	10	1	4

参考文献

- 1) 農林水産省 林野庁 都道府県別森林率・人工林率 <http://www.rinya.maff.go.jp/keikaku/genkyou/h24/1.html>
- 2) 環境省 植生調査図 GISデータ(1999年) <http://www.biodic.go.jp/trialSystem/shpddl.html>
- 3) 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(岐阜県資料) <http://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/pdf/18/bull1801.pdf>
- 4) 木質系バイオマスの燃焼特性 高知工科大学 岡田敏章 修士論文(2004年)
- 5) 東京ガス <http://www.tokyo-gas.co.jp/>
- 6) 水文学の基礎 著:水村和正
- 7) かんでんエンジニアリングより <http://www.kanden-eng.co.jp/special/suiryoku/>
- 8) RecoD エネルギープレスより <http://www.recod.jp/>