

インドネシアにおける農産系バイオマスエネルギーの 利用可能性の分析

三輪泰史*・川島博之**

(*東京大学大学院農学生命科学研究科/株式会社日本総合研究所,

**東京大学大学院農学生命科学研究科)

Availability of Biomass Energy in Indonesia (Yasufumi Miwa, Hiroyuki Kawashima)

1. 本研究の目的と概要

1990年代後半にアジア経済危機の影響を受けたものの、インドネシア経済は右肩上がりの成長を続けている。経済発展に伴い国内のエネルギー供給状況は改善を見せているが、依然として地方の集落では未電化地域が多く存在する。地方集落を中心としたエネルギー供給状況の改善策として、農業が盛んなインドネシアでは、農産系バイオマスエネルギー（註1）の活用が有力な選択肢として挙げられる。

そこで本研究では、インドネシアの各地域において、農産系バイオマスエネルギーの活用がエネルギー供給状況をどの程度改善する効果があるかを分析することを目的に、インドネシアの主要な農産系バイオマスを選定した上で、それぞれの利用可能量を算出した。ただし、可食部のエネルギー化は食糧供給を圧迫する危険性があるため、分析の対象から外してある。

また、インドネシアは地域ごとに人口に大きな差異があるため、地域全体のバイオマスエネルギー利用可能量に加えて、一人当たりの利用可能エネルギーの試算も行い、地域間比較を行った。

2. インドネシアのエネルギー事情

インドネシアは、東南アジアにおける代表的なエネルギー生産国であり、石炭、原油、天然ガスの輸出国である。一方、エネルギーの生産国であるにもかかわらず、地域間の経済格差が非常に大きいため、外島（註2）には電気が供給されていない世帯も多く存在する。これらの無電化世帯では電化製品が使用できないために女性を中心とした家事労働の負担が大きくなっており、女性の社会進出阻害をはじめ、生活の質を低下させているといえる。

一方で全国的に農林業が盛んなため、国内には豊富な農産系バイオマス、林産系バイオマスが存在する。その大部分は地方の世帯における炊事用やレンガ焼結用の燃料、小規模企業における燃料として用いられており、これらは熱効率が悪いことが課題となっている。また、使用されずに放置されたり、野焼きによって処分されるバイオマス量も多いといわれている。

3. インドネシアにおける農産系バイオマスエネルギーの位置づけ

インドネシアでは、農産系バイオマスとしてコメ、サトウキビ、キャッサバなどの作物がエネルギー化の有力な候補となる。一方、インドネシアでは食文化の違いのため、日本や欧米と比べて畜産系バイオマスエネルギーの賦存量が少ないのが特徴的である。

バイオマスエネルギーの利用形態には、エネルギー作物として可食部もエネルギー化するケースと、食用とならない残渣のみをエネルギー化するケースがある。可食部もエネルギー化するエネルギー作物として栽培する場合、国内外の食糧事情への影響を考慮する必要がある。一方で残渣系バイオマスの場合、肥料向け需要との競合を考慮する必要がある。

鉱山・エネルギー大臣令によると、下記の通り、インドネシアにおいてバイオマスエネルギーは第二優先のエネルギーに分類され、積極的に普及が推進されている。ただし、第一優先ではな

く第二優先に属していることから、畜産廃棄物が豊富な日欧に比べてバイオマスエネルギーの政策的な優先度が若干低くなっていると考えられる。

また、バイオマスエネルギー普及の阻害要因の一つとして、化石燃料と比較してコスト競争力が弱い点が挙げられる。その背景には化石燃料などの従来型エネルギーに対する多額の政府補助金がある。近年従来型エネルギーへの補助金の削減や料金値上げが行われているが、国際的な原油価格の高騰の中でバイオマスを含む新エネルギーへの転換を図るという視点では、的を射た政策である。

第1表 鉱山・エネルギー大臣令におけるバイオマスエネルギーの位置づけ

- (a) 第一優先：風力、太陽エネルギー、ミニ水力
 (b) 第二優先：以下のいずれかの方式で発電する者
 1) 農業又は産業廃棄物
 2) 一般廃棄物
 3) 工場廃熱
 4) 地熱
 5) 農業又は産業廃棄物を使用するコ・ジェネ
 (c) 第三優先：化石燃料を使用するコ・ジェネ
 (d) 第四優先：化石燃料を使用する通常発電

出所：鉱山・エネルギー大臣令より筆者まとめ

なお、下線はバイオマスエネルギーを示す

第1表に示すとおり、バイオマスエネルギーはコスト面での優位性は低いものの、インドネシアのような発展途上国においては、コスト面以外の多面的な効果が期待できる。

一つは、地球環境問題対策という側面である。二酸化炭素排出抑制の流れの中で、バイオマスエネルギーの環境性が注目されており、日本を始めとする先進国の CDM プロジェクトの実施も期待される。

また、外島を始めとした貧困地域における地域振興に関しても大きな効果が期待できる。バイオマスエネルギープラントの建設・運営により、地域の新規雇用の創出や関連産業の発展が見込まれる。ただし、プロジェクトの計画段階より、地域振興に配慮した検討が必要であるのはいうまでもない。

合わせて、地域住民の生活レベルの改善の効果も重要である。2002年、2003年に実施したインドネシアの無電化地域での現地ヒアリング調査では、女性の家事労働の負担が大きいとの意見が聞かれた。バイオマスエネルギー導入によるガス、電気などのインフラ整備により電化製品の導入が促進され、女性の家事労働の負担が減少することが期待される。

4. 農産系バイオマスエネルギーの利用可能量の試算

本研究ではインドネシアで栽培されている作物の中から、①残渣系バイオマスとして利用可能であり、②直接燃焼方式で利用可能であり、③地域局在性が比較的少なく、④残渣が収集容易なものという基準により対象作物を選定した。この結果、稲わら、バガス、サトウキビ収穫残渣を選定した。

なお、選定基準のうち地域局在性については、海外から移転した技術を効率的に全国展開するという視点から、複数地域で大規模に栽培・飼育されているものを対象とした。インドネシアではバイオマスエネルギー活用が始まったばかりであり、まずは全国的に展開可能な作物を優先的に選定すべきであり、ある程度の普及の後に日本のように地域性を活かしたバイオマス利用を図ることが重要と考える。

一方、稲わらは他用途との競合、牛豚糞は地域局在性及び利用方法、鶏糞は収集の難しさ、サ

トウキビ可食部やキャッサバは食料需要との競合から対象外とした。

次に、インドネシアの主要7地域のコメ、サトウキビの生産量を第2表に示す。コメが量の多寡はあるものの各地域で存在されているのに対して、サトウキビはカリマンタン、マルク、パプアではほとんど生産されていないことがわかる。

第2表 コメ、サトウキビの生産量グラフ (2002年、単位：トン)

	コメ	サトウキビ
スマトラ	11,678,220	2,606,725
ジャワ	29,985,690	21,167,017
ヌサテンガラ	1,939,210	9,393
カリマンタン	2,940,749	1,832
スラウェシ	4,528,923	114,499
マルク	35,553	498
パプア	71,067	36
合計	51,179,412	23,900,000

出所：「Statistik potensi desa propinsi 2003」より筆者集計

続いて各地域の初穀、バガス、サトウキビ収穫残渣に関して、直接燃焼方式により蒸気の形態に変換して利用する場合の、バイオマスエネルギーの利用可能量を算出した。まず、初穀、バガス、サトウキビ収穫残渣に関して、それぞれの全排出量に、各品目のうちエネルギー用として利用可能な割合を乗じることで、エネルギーとして利用可能なバイオマス量が算出される。続いて、各バイオマス量に、燃焼時に発生する熱量を示す低位発熱量と、供給熱量に対する発生蒸気の吸熱量の割合を示すボイラー効率を乗じることで算出される。

$$\text{初穀由来利用可能量} = \text{初穀排出量} \times \text{利用可能率} \times \text{低位発熱量} \times \text{ボイラー熱効率} \cdots \text{式1}$$

なお、日本国内の事例及び現地調査をもとに、「玄米：稲わら：初穀」の重量比を「44：45：11」とするとともに、初穀のうちエネルギーとして利用可能な割合を25%、ボイラーの熱効率を70%とした。また、山地[10]及び財団法人日本エネルギー学会編[8]より、初穀の低位発熱量は3,000kcal/kgとした。

$$\text{バガス由来利用可能量} = \text{バガス排出量} \times \text{利用可能率} \times \text{低位発熱量} \times \text{ボイラー熱効率} \cdots \text{式2}$$

$$\text{サトウキビ収穫時残渣由来利用可能量} = \text{サトウキビ収穫時残渣排出量} \times \text{利用可能率} \times \text{低位発熱量} \times \text{ボイラー熱効率} \cdots \text{式3}$$

同様に、現地調査をもとにサトウキビ収穫量のうち、バガスの占める割合を25%、収穫時残渣の占める割合を15%とするとともに、利用可能率に関してはバガスが100%、収穫時残渣が67.7%と設定した。また、低位発熱量に関しては、山地[10]及び財団法人日本エネルギー学会編[8]より、バガスが1,800kcal/kg、収穫時残渣が3,500kcal/kgとし、ボイラー効率は初穀同様に70%とした。

続いて、式1、2、3で算出した各地域の利用可能量をそれぞれの地域人口で除することにより、一人当たり利用可能量を算出した。

$$\text{一人当たり利用可能量} = \text{利用可能量} \div \text{人口} \cdots \text{式4}$$

また各地域の利用可能量を合算し国全体の総量を算出し、全エネルギー消費のうち、どの程度の割合が対象3品目に由来するバイオマスエネルギーにより供給可能かを分析した。

5. 結果及び考察

式1, 2, 3に基づき試算した、各地域の籾殻、バガス、サトウキビ収穫時残渣由来バイオマスエネルギーの利用可能量を第3表に示す。

第3表 籾殻、バガス、サトウキビ収穫時残渣由来バイオマスエネルギーの利用可能量(10³kcal)

	コメ	バガス	サトウキビ収穫時残渣
ジャワ	1788.23	821.12	648.55
スマトラ	4591.56	6667.61	5266.30
カリマンタン	296.94	2.96	2.34
スラウェシ	450.30	0.58	0.46
パプア	693.49	36.07	28.49
ヌサテンガラ	5.44	0.16	0.12
マルク	10.88	0.01	0.01
インドネシア計	7836.85	7528.50	5946.26

出所：第1表に基づき筆者が試算

第3表及びEIA[4]より、コメ、バガス、サトウキビ収穫時残渣由来のバイオマスエネルギーはインドネシア国内で必要なエネルギーの1.90%を代替可能だと判明した。コメは地域的な偏在性が少なく、一方でサトウキビは地域偏在性がコメに比べて大きいものの、バガスと収穫時残渣を合わせた利用可能量が大きいことが特徴であるといえる。資源エネルギー庁[8]によれば、我が国の2002年の一次エネルギー供給に占める新エネルギー（バイオマスエネルギーを含む）の割合は1.7%であり、本試算結果の1.90%は、3品目の合計値としては十分に大きな値だと評価できる。

続いて、地域ごとの人口の多寡を考慮するため、式4に基づき利用可能量を各地域の人口で除した、一人当たりバイオマスエネルギー利用可能量の試算結果を第4表に示す。

第4表 一人当たりバイオマスエネルギー利用可能量(単位:10³kcal)

	コメ	バガス	サトウキビ収穫時残渣
ジャワ	41.29	18.96	14.97
スマトラ	36.88	53.55	42.30
カリマンタン	37.30	0.37	0.29
スラウェシ	39.74	0.05	0.04
パプア	46.40	2.41	1.91
ヌサテンガラ	2.74	0.08	0.06
マルク	4.90	0.01	0.00
インドネシア平均	37.99	36.50	28.83

出所：第1表に基づき筆者が試算

上記結果より、ヌサテンガラとマルクの二地域については、コメ及びサトウキビの生産量が少ないため、今回対象としたバイオマスのみではエネルギー供給の改善効果が、ともに全国平均の5%未満と著しく低いことがわかった。

以上より、インドネシアでは籾殻、バガス、サトウキビ収穫残渣に由来するバイオマスエネ

ギーの利用可能性は全エネルギー消費の1.9%と高く、各地域のエネルギー供給状況を改善できることが判明した。コメ及びサトウキビは精米所や製糖工場に収集されるため残渣のエネルギー利用が容易という特徴があり、本試算結果より、優先的に普及に取り組む価値のあるバイオマスであるといえよう。ただし、日本を始めとした他国と同様に、バイオマスエネルギーの占める割合は化石燃料等と比べるとごく一部にすぎず、あくまで補助的な役割であるといえる。また、今後の経済発展と人口増加に伴い、インドネシア国内のエネルギー需要が大幅に増加することが想定され、対象3品目由来のエネルギーの占める割合は低下していくものと推測される。ゆえに、今回の試算では対象としなかった廃ゴム材やオイルパーム残渣などのプランテーション残渣についても、バイオマスエネルギーとしての有効利用の検討が必要であろう。

同時に、インドネシアにおいて、将来のエネルギー供給に関してバイオマスエネルギーに過度な期待をすることは危険であると思われる。例えば、バイオマスエネルギーへの過剰な依存は、対象農産物に関して、肥料向けのバイオマス供給などを逼迫させる可能性があることにも留意しなければならない。

東南アジアの大国であるインドネシアにとって、今後国内各地域に対してバイオマスエネルギーを始めとした新エネルギーの一層の普及を図り、環境保全と地域経済の発展の双方を実現することが重要な課題である。

(註1) 本論文では「バイオマスエネルギー」という単語を、生物由来の電気・ガス・アルコールなどの形態のエネルギーと定義する。薪炭材などの燃料としての従来型のバイオマス利用は含まれないものとする。

(註2) ジャワ島以外の島々を総称して「外島」という名称が用いられている。

引用文献

- [1] Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia (インドネシア統計局) "Statistik Indonesia (インドネシア統計年鑑)" 各年度版, 1990~2003.
- [2] Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia "Statistik potensi desa propinsi 2003" 各州版, 2003.
- [3] Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia "Statistik perusahaan hak pengusahaan hutan 2000", 2000.
- [4] Energy Information Administration(EIA) "International Energy Outlook 2006", 2006.
- [5] Food and Agriculture Organization of The United Nations, "FAOSTAT", 2006.
- [6] 鉱山・エネルギー省 (インドネシア) 『鉱山・エネルギー大臣令 No. 996』, 1999
- [7] 社団法人日本エネルギー学会 (編) 『バイオマスエネルギーハンドブック』, オーム社, 2002.
- [8] 資源エネルギー庁 『日本のエネルギー2006』, 2006.
- [9] World Bank "World Development Indicators 2003", 2003.
- [10] 山地憲治編著 『バイオエネルギー』, ミオシン出版, 2000.