

## 考 察

千葉大学グランドフェロー（元千葉大学総合安全衛生管理機構 教授）

立 本 英 機

### 1. はじめに

わが国のエネルギー源の多くは石油や石炭で、それらの大部分は海外から輸入しており、特に石油は90%以上を中近東からの輸入に依存している。それ以外のエネルギーも海外からの輸入という、脆弱なエネルギー供給構造がある。かつて、1973年の第1次石油危機では最も日本は打撃を受け、モノ不足と便乗値上げが行われ、トイレットペーパー等の買い占めといった市民生活に大きなパニックを起こした。後に二度の石油危機による原油の価格上昇、量的確保の不安定さから、脱石油化が提唱され、電力供給における電子力、LPG、石炭の導入も盛んに実施されるようになった。しかしながら、まだ石油依存度は高く、輸出国のある中近東の政情不安もあって、エネルギー消費国世界第四位の日本にとっては不安定な供給構造は是正されていない。

一方、地球温暖化問題は、化石燃料の使用によって大気中へ放出される二酸化炭素など、「温室効果ガス」の増大にある。温室効果ガスは、太陽から放射された熱を逃がさない働きをするため、地球全体の気温がどんどん上昇していく原因となっている。温室効果ガスの大部分は二酸化炭素である。二酸化炭素濃度の増加は、地球の平均気温を上昇させ、天候不順による農作物の減収、熱帯性伝染病の増加など地球以外にも、我々人間の健康や社会への影響も大きい。こうした地球温暖化の被害を食い止めるために1997年の「京都議定書」となったが、日本、アメリカ（2001年に離脱）、EUはそれぞれ6%、7%、8%を2012年までに削減することが目標であるにもかかわらず、実際には温室効果ガスは増加の傾向にある。

そこで、エネルギーの不安定な供給構造や地球温暖化問題を解消していく政策として実施されるようになったのが、平成14年12月に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」であり、バイオマスの利活用促進に国家プロジェクトとして取り組んでいくこととされている。バイオマスから燃料用エタノールやメタノールの製造、利用、バイオマス発電の可能性（バイオマスのエネルギー変換）、メタン発酵によるサーマルリサイクルといった研究などが進められている。

### 2. バイオマスとは

バイオマスとは、太陽エネルギーを得て成長する植物や動物などを含めた生物資源を示す言葉であり、エネルギーや工業原料に利用される生物体資源という意味を持っている。その定義は大きく、

- 1) 再生可能な生物由来の有機資源で化石資源を除いたもの
- 2) 太陽エネルギーを使って生物が合成したものであり、生命と太陽がある限り枯渇しない資源
- 3) 燃焼しても大気中の二酸化炭素を増加させないカーボンニュートラルな資源

とすることができる。

“炭素循環”と“光合成”に由来するバイオマスは、利用、分解、廃棄及び焼却する過程で二酸化炭素となっても、植物が光合成により固定した二酸化炭素であるため、バイオマス利用量と植物成長量とのバランスが取れていれば大気中の二酸化炭素濃度は一定に保たれる。

多種多様のバイオマスは、その発生源から、①未利用バイオマス、②廃棄物系バイオマス、③資源作物、④新作物に分類される。①は現状では有効に利用されていない農作物のうちの非食用部（稲わら、麦わら、もみ殻）及び林地残材（間伐材、被害材）、②は日常生活や産業活動から排出された有機性廃棄物、③は食料や木材の生産を目的としないでエネルギー資源や物質を得ることのみを目的として栽培されている作物、④

は従来利用されていなかった遺伝資源及び従来の作物を品種改良や遺伝子組替えなどによってバイオマス生産能力を高めた資源作物である。

地球上に存在するバイオマスの総重量は推定で約2兆トンといわれ、そのうち森林が90%で、二酸化炭素を吸収固定している。

### 3. 千葉県の木質系バイオマスの現状

千葉県が平成16年3月に取りまとめた「千葉県モデル・バイオマスタウン設計業務調査報告書」で把握されている千葉県全域で発生するバイオマス資源量の種別割合を図-1に示した。

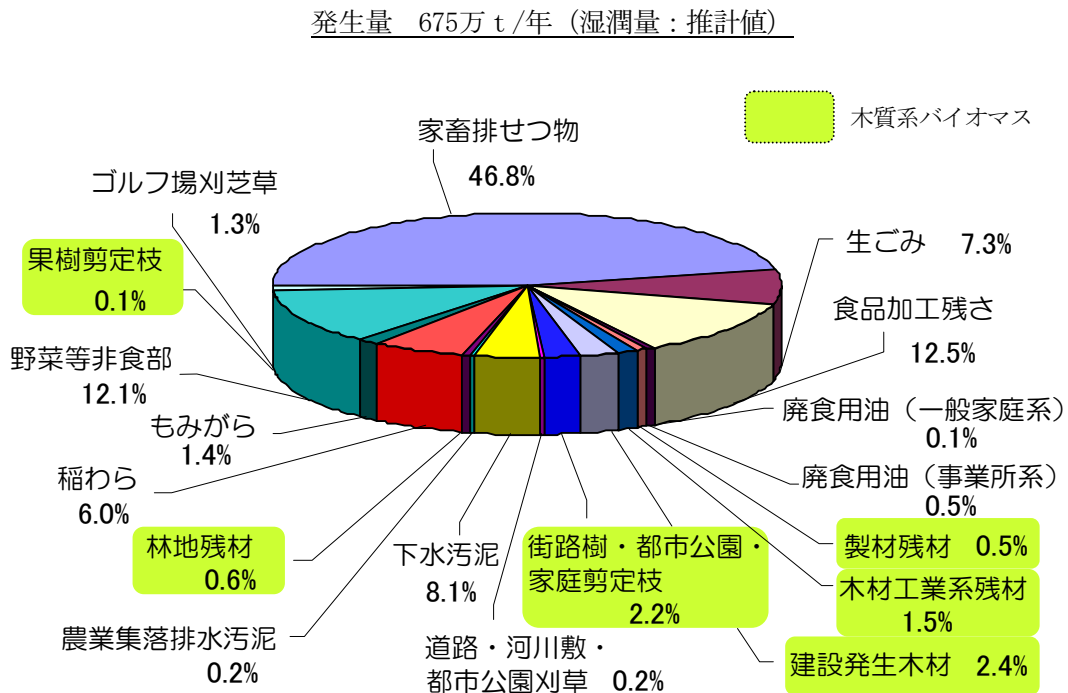


図-1 千葉県内のバイオマス発生状況

バイオマスの総発生量は675万t/年で、家畜排せつ物が最も多く次いで食品加工残渣となっており、両者で全体の6割近くの量を占めている。これは、本県における農畜産業の生産力や食品加工場等の集積によるもので、千葉県の持つ高いポテンシャルの一端を示すものといえる。このうち、木質系バイオマスは約50万t/年が発生しており、その発生状況を整理したものが図-2である。

本県で発生している木質系バイオマス(約50万t/年)を多い順に並べると、建設発生木材(家屋解体現場などから分別回収されるいわゆる“木くず”)、次いで街路樹等剪定枝(街路樹、公園、一般家庭の植木から発生する剪定枝)、木材工業系残材(主に輸入材を扱う集成材、合板、プレカット工場から発生する端材、プレナ屑等)、林地残材(主伐・間伐に伴い林内に残される枝、梢、端尺材等)、製材残材(中小製材工場から発生する背板、樹皮等)、果樹剪定枝(梨等の果樹園から発生する剪定枝)となっている。

50 万 t / 年 (推計湿潤量)

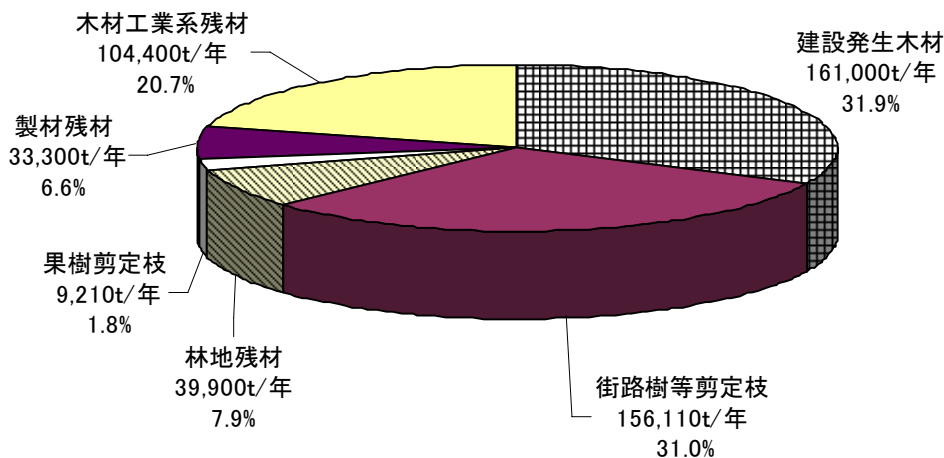


図-2 県内木質系バイオマスの発生状況

次に、森林系木質バイオマスによる「潜在資源量」を示したのが図-3である。県内の森林を利用可能な全ての木質バイオマス資源として重量換算しなおすと約 230 万トンとなり、また、森林の樹木が毎年肥大生長することで、持続的に増えていく「森林系木質バイオマスの成長量」は、約 54 万 t / 年と試算されている。

本県では、これらの森林系木質バイオマスの中で林業活動による伐採・利用がなされずに森林内に放置されている未利用資源として、“間伐対象木”（間伐対象森林の中で未間伐分の立木）と“被害木”（スギ非赤枯性溝腐病被害木等の被害木）があり、利用可能な竹材なども含めて「潜在資源」と定義しており、その総資源量は約 230 万 t になると推計している。

また、木質系バイオマスの賦存状況で特筆すべき点に「潜在資源」の地域性が挙げられる。図-4は県内地域の分布を示したものであるが、山武地域の潜在資源量が突出しており、サンプスギの被害林が集中する同地域では被害木であるバイオマス量が 50 万 t 以上も存在する。

230 万トン (推計値)

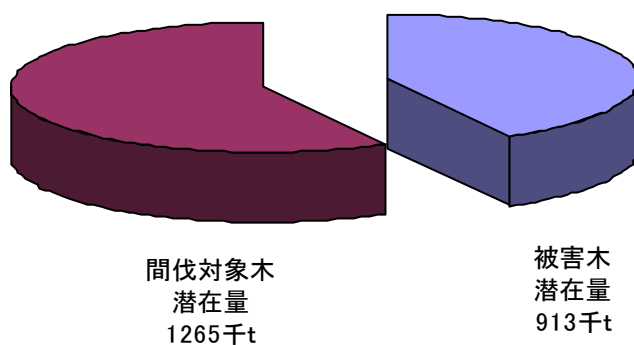


図-3 森林系木質バイオマス（潜在資源）の状況

※竹材等の潜在資源量（124千t）は単位が異なるため除外している

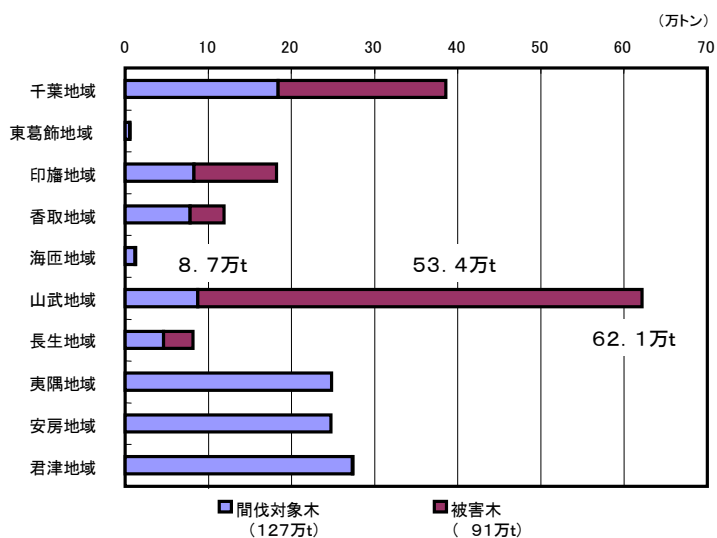


図-4 潜在資源の県内分布状況

この潜在資源の多くは、柱材などの用材として利用することは難しいが、見方を変えれば高品質なバイオマス資源としての新しい資源利用が期待される。

#### 4. 本県バイオマスのポテンシャル

再生可能な資源とされるバイオマス資源（県内）のポテンシャルを試算したものが表－1である。それぞれ数値は、バイオマス乾重量に高位発熱量または元素C割合を乗じて、総発熱量、原油換算量及び炭素換算量を試算したものである。

表－1 県内のバイオマス・ポテンシャルの試算

区分	対象バイオマス	原油換算 [万 kl/yr]	炭素換算 [万 t-C/yr]
家畜排せつ物	家畜排泄物	21.3	18.8
食品廃棄物	生ゴミ	2.3	2.2
	食品加工残さ	3.9	3.7
	廃食用油	4.7	3.1
木質系廃材	製材残材	0.8	0.7
	木材工業系残材	4.9	4.7
	建設発生木材	7.4	7.1
農作物残さ	稲わら	11.9	11.5
	籾殻	2.8	2.8
	果樹剪定枝	0.2	0.2
	野菜等非食部	7.5	6.7
剪定枝・刈草等	街路樹・都市公園・家庭剪定枝	3.6	3.5
	林地残材等	0.9	0.9
	道路・河川敷・都市公園刈草	0.2	0.1
	ゴルフ場刈芝草	0.8	0.7
汚泥	下水汚泥（濃縮汚泥ベース・乾重量）	3.5	2.9
	農業集落排水汚泥	0.2	0.1
合計		77	70
潜在資源	間伐対象木・被害木	52	50

県内で発生するバイオマスは、原油換算すると約 77 万 k L／年であり、炭素量（C）に換算すると約 70 万トン - C／年となる。また、被害木などの潜在資源を原油換算すると約 52 万 k L／年、炭素量（C）換算では約 50 万トン - C／年と推計される。

#### 5. 資源循環型社会に向けた“木炭の循環系”

資源循環型社会の形成や二酸化炭素排出抑制といった地球規模での取組みが進められる中で、バイオマスは石油などの化石燃料に変わる「新エネルギー」として利活用する取組みが促進されており、本県でも木質バイオマスを燃料に使用した大規模プラントによる発電事業が進められている。

しかし、持続可能な社会に位置付けられるシステムとなるバイオマス・リファイナリーを実現していくためには、新エネルギーへの利用促進と併行してバイオマス素材をさまざまな用途へ変換（マテリアルやファインケミカル）して高度利用する技術の開発や地域レベルで多様なバイオマスを循環利用していくシステムをさらに推進することが必要であろう。

“木炭の循環系”とは、バイオマスが消費される際に発生する二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）が大気中にいったん排出されて、それをまた植物（森林）が吸収することでバイオマスが再生される“炭素（C）の循環系”の一端であるとも言える。

そして森林が蓄積した二酸化炭素（炭素）を変換してできる木炭の特徴としては、エネルギーやマテリア

ルとしての多様な用途利用が可能であることや、炭素（C）の集合体で安定した物質でカーボンニュートラルな炭素を長期的に固定できる資源であることがあげられる。例えば、その特性（吸着能や微生物親和性など）を活用した水質浄化利用を経てから別の目的に再利用したり、最終的に燃料として利用することができる。また、農業用資材として農地で施用すれば、土壌改良効果による土づくりと共に土壌中に炭素（C）を安全的に固定する効果も期待できるなど、地域の炭素循環を担う重要な資材となるものである。

そのような中で、森林から発生（潜在）する資源“木質系バイオマス”を木炭の新用途開発といった用材以外の目的へ適正に利活用していくための技術開発や、資源循環システムづくりが求められている。すなわち、製材残材、被害材、せん定枝といった不純物が混入しない高品質な木質バイオマスを、木炭などの多段階な用途に利活用していくシステムを各地域に普及していくことが必要である。

## 6. 千葉県における取組みと課題

平成の時代に入り、環境問題が大きくクローズアップされるに従い、循環型社会づくりや環境との共生、環境にやさしいモノづくりといった地球規模の課題のなかで、平成 15 年 5 月千葉県は「バイオマス立県ちば推進方針」を策定し、多様なバイオマスの利活用の取り組みを開始した。木質系バイオマスの循環利活用と森林再生の促進を目的に千葉県では、研究機関、大学、県内企業および林業・木材産業団体等による「木質バイオマス利活用実用化促進事業」を実施すると共に、「木質バイオマス新用途開発プロジェクト高機能木炭部会」を設置した。この高機能木炭部会の活動は、木質バイオマスの資源循環システムの構築につながる、再資源化技術や新用途開発などの共同研究と木炭の普及啓発が主体である。この部会では、サンプスギ木炭を用いた多くの実践的研究を行うと共に、既存の研究成果も参考にして、総合的に評価を試み、実践的使用、経済的、技術的な立場からそれぞれの問題点を抽出し、今後の検討課題として更に研鑽を重ね、実用化を目指した。

研究成果は大別して（1）炭化炉の検討とサンプスギ木炭の製造（2）農業への利用、（3）畜産への利用、（4）森林への利用及び（5）工業への利用について実施した。

### （1）炭化炉の検討とサンプスギ木炭の製造

炭化炉は機械釜で、比較的投入口は広く、種々の大きな並びに形状の原料を投入して炭化できる。温度幅がやや広く、昇温時間が速く、15 分前後で 600～800℃に達する。炭化温度は、900～1,000℃である。山武地域で生産されるサンプスギの中から、柱や板を生産する時に発生する残材（背板という）を原料として、機械窯によって炭化された炭をサンプスギ木炭として製品化した。

炭化された炭（サンプスギ木炭）の特徴は黒炭で、柔らかい。木炭の規格から見ると「規格外」となるが、原料が明らかであるので、有害物質は含まないなど、安心して使用ができる。吸着性など、従来からの市販木炭と大差はないが、物理的に強度が必要な時は検討をしなければならない。

炭化炉の検討としては、空気（酸素）の投入制御、炭化温度の制御、炉内で起こりうる架橋、落下速度の変動、廃熱の有効利用などが更に改善されるともっと効果の良い木炭が得られるであろう。

一方、原材料の製材残材は他用途への需要も多く、安定的な供給となっていない。これに対し、サンプスギ被害木、間伐木等は山林に大量に放置されており、これらの搬出・利用方法を考える必要がある。しかし、これらを山林から出すコストに見合う事業モデルの実現性が低く、被害木等の炭化利用を検討する上で、大きな課題となっている。原料（林地残材、未利用間伐材、被害材等）供給体制の確立とその収集運搬コストの低減化を図るため、既存の木材流通システムだけに頼らない新しい視点による木質バイオマス収集運搬システムの創出が必要である。

## (2) 農業への利用

農業への利活用として試みるため多方面の協力を得た。サンブスギ木炭の農地施用については、土地の空隙率や保水性を高める効果を示した。すなわち、農地の土壌改良効果があることが明かにされた。

さらに副次的効果として、10アールの農地に炭素含有率90%以上のサンブスギ木炭320kgを施用した場合には、約1トンの二酸化炭素を土中に固定したことになり、地球温暖化ガスの排出量の削減につながる取り組みとしても評価できる。

農業資材として農地施用効果を得るには実験の時間不足により、全ての研究について十分な効果は得られていない。しかしながら、実験途中であるが、酸性土壌の矯正、地下水汚染の防止、微生物の生態や生理の活性化、疎水材としての応用など非常に期待できるデータが示されている。

## (3) 畜産への利用

畜産農家では、豚舎の消臭及び豚の腸整剤としての飼料として使われており、その畜ふんから生産されるサンブスギ木炭入りの「炭入りたい肥」は、「有機農法」に取り組む農家での利用が始まっている。このような木炭の地域循環によって、林・畜・農が連携した環境調和型の一次産業の振興が期待される。

## (4) 森林への利用

荒廃した森林の整備や再生への利用が可能である。房総海岸の防風林造成事業、山砂採取跡地への施用は概ね良好であるが、実験時間の不足と、経済的採算の検討など更に検討が必要である。

## (5) 工業への利用

電磁波のシールド材としての応用は、粉炭を混入したサンプルを試作し実験を試みた結果、100MHzの低周波では著しい電界シールド効果を認めたことを始め、多くの成果が認められつつあり、今後多くの木炭が使用される分野であろう。また吸収剤、およびろ過材への適応の可能性も大きく期待が持てる。

## (6) 体感教育・環境学習

農業用水路の水質浄化の実施については、浄化それ自体はまだ際立った成果は認められない。しかしながら、実施にあたっては、地元（山武市原横地）住民、小中学生、更に千葉県山武農林振興センターおよび山武市産業振興課の職員たちが一緒になって、いわゆる協働作業（パートナーシップ）による「水の浄化」を通して水環境を考える、いわゆる「体感教育、環境教育」ができてきていることである。特に、その手法を提案している農林振興センターの役割は大きい。さらに、サンブスギ木炭を用いた日向小学校高学年生徒と先生方による環境教育も将来大きな希望がもてる。

## (7) 廃熱利用

炭化炉から発生する熱を廃熱利用としてスギ材の乾燥への適応を試みた結果、季節や加熱手法、時間などにより異なるがおおよそ10℃前後は昇温可能といったデータが得られている。今後は廃熱の導入手法など、検討をしなければならないことも多いが、利活用は可能である。

サンブスギ木炭の実践的手法による技術開発を多方面の協力を得て実施している。その中で実用的に利活用が進んでいる研究もあるが、多くの研究は成果の途中であり、継続的に進めていかなければならない。