



Yokoyama Shinya

横山 伸也 東京大学名誉教授

巻頭●座談

森林総合研究所図書室にて
Photo by Godo Keiko



Nagakura Junko

長倉 淳子 立地環境研究領域

木質バイオマスをどう使いこなすか？

ゲストにバイオマス研究の第一人者である横山伸也東京大学名誉教授をお迎えして、森林総研の各領域から、バイオマス・エネルギーに関する研究プロジェクトに参画する3人の研究者が、木質バイオマスについて語り合いました。



Takata Eri

高田 依里 森林資源化学研究領域



Yoshida Takahiro

吉田 貴紘 木材加工・特性研究領域

とも考えています。

高田 ●私の専門は木質バイオマスの化学変換で、リグニンや樹皮のマテリアル利用について研究しています。またツールを作成し、地域内で生産される木質資源を原料に用いた場合や小型ガス化熱電併給装置（以下、CHP：Combined Heat and Power）によるエネルギー利用と組み合わせる場合の製造コスト等を試算して、生産プロセス等の評価を行っています。

横山 ●本日はお招きいただきありがとうございます。私、そもそも工業技術院（現・産業技術総合研究所）の木材ガス化

吉田 ●森林総合研究所では森林環境、林業機械、木材加工、林業経済など、さまざまな領域から横断的に研究者に参画してもらってエネルギー研究に取り組んでいます。そこで、本日の座談も各領域から参加していただきました。最初に、各自の研究テーマを簡単にご説明してから、話題を深めていきたいと思っています。

私は、いま木質ペレットの利便性を高める「半炭化」の研究に取り組んでいます。「半炭化」については、のちほどお話ししますので、長倉さんからどうぞ。

長倉 ●私は、土壌の養分状態と樹木の成長との関係を研究しています。その一環として木質バイオマス発電所から出る燃焼灰を樹木の肥料として山に戻したり、苗木の培地として利用したりできないか検討しています。また、放射性セシウムの吸収抑制につなげることができないかと考えています。

横山伸也先生の本



横山 伸也 (よこやま しんや)

1947年北海道生まれ。1969年北海道大学理学部卒業。1974年同大学院理学研究科博士課程。工業技術院公害資源研究所入所。博士(理学)。1991年資源環境技術総合研究所温暖化物質循環制御部部長。2001年産業技術総合研究所中国センター所長。2004年東京大学教授。2011年公立鳥取環境大学教授。2019年同大学サステナビリティ研究所所長。東京大学名誉教授。



『バイオエネルギー最前線』『バイオマスエネルギー』(共に森北出版)

の基礎研究から始めたのです
が、あるとき林業試験場(現・

森林総合研究所)にかつてお勤めされていた榎原彰先生が書かれた『木材の秘密』

という本を読んで、バイオマスが持つこれからの可能性に開眼し、いまに至っています。榎原先生の本によると、セルロースからアルコールを作る「第2世代エタノール」の原理(木材を濃硫酸等で処理するとエタノールの原料となる糖ができる)は、なんと100年以上前の1913年にすでに知られていたそうです。その技術がようやく現代に花開いたわけです。

私はその後、つくばの産業技術総合研究所で木材の液化に取り組み、木質バイオマスを高温高压処理して重油ほどの熱量を持つ液体にする研究を行いました。また、下水汚泥から液体燃料を作る研究などにも取り組みました。

高田 ●バイオマスのいろんな手法に關わってこられたのですね。

横山 ●専門はガス化、熱分解です。バイオマス利用には、発酵による生物的な手法と、高温で処理するサーマルな手法があります。私はサーマルなプロセスを主に研究してきました。

とはいえ、気候変動問題を考えると、生物的手法によるバイオマス利用は欠かせません。いま日本は2050年にカーボンニュートラルの達成を目指しています。目標達成には、化石燃料の抑制が必要で、電気自動車や水素燃料電池自動車

などの使用割合を高めなくてはなりません。そこでも有力な案としてE10があります。バイオエタノールを10パーセント入れたガソリンです。世界では導入が進んでいます。日本は、ETBE (Ethyl Tertiary-Butyl Ether) とごうバイオエタノールを入れていて、これはすでに市販のガソリンにも1〜2パーセント入っています。これを世界標準に合わせてE10にすればCO₂は減るわけですが、なかなかこちらにも思うように進んでいないのが現状です。原料のエタノールのほとんどをアメリカやブラジルから買って、アメリカでETBEに変えて輸入しています。木材の構成成分であるセルロースを原料とする第2世代バイオエタノール製造技術も重要です。まだ実用化されていませんが、生物学的な手法とサーマルな手法の融合で早く商業化への道を切り開いて欲しいものです。

吉田 ●先生は著書で、バイオマスは再生可能エネルギーの中で唯一「モノ」であることを強調されています。太陽光や風力と違って、有機物だから貯蔵もできるし、衣食住や産業を支えるマテリアルにもなる。この視点はとても重要ですね。

いま森林総研では、木質バイオマスを思い尽くすということを考えていて、たとえば、木材を燃やせば微量ながら灰や鉱物質が残ります。この灰を資源として活用できないか、ということまで長倉さん

はじめ研究室の皆さんと、肥料などへの活用も模索しています。

横山 ●吉田さんのやっている半炭化ペレットは、発電だけでなく熱利用ですね。私は、そこが非常に大事だと思います。バイオマスというと発電にばかり目がいきますが、日本の電気と熱の割合は、たとえば製造業のエネルギー消費の4割は電力ですが、6割は熱です。

半炭化ペレットは熱利用もあるし、水に強くて貯蔵もできる。CO₂削減の観点からみて有望な燃料です。

吉田 ●利便性の高い木質燃料を家庭で使えるようになれば、化石燃料を減らすことができ、地域での資源やお金の循環にもつながると考えています。

横山 ●バイオマスの燃焼灰と樹木のセシウム吸収抑制をリンクさせるといって長倉さんのお話ですが、燃焼灰は、どのように働くのですか？



『木材の秘密—リグニンの不思議な世界』(榎原彰著 ダイアモンド社)

はじめ研究室の皆さんと、肥料などへの活用も模索しています。

横山 ●吉田さんのやっている半炭化ペレットは、発電だけでなく熱利用ですね。私は、そこが非常に大事だと思います。バイオマスというと発電にばかり目がいきますが、日本の電気と熱の割合は、たとえば製造業のエネルギー消費の4割は電力ですが、6割は熱です。

半炭化ペレットは熱利用もあるし、水に強くて貯蔵もできる。CO₂削減の観点からみて有望な燃料です。

吉田 ●利便性の高い木質燃料を家庭で使えるようになれば、化石燃料を減らすことができ、地域での資源やお金の循環にもつながると考えています。

横山 ●バイオマスの燃焼灰と樹木のセシウム吸収抑制をリンクさせるといって長倉さんのお話ですが、燃焼灰は、どのように働くのですか？

長倉 ●燃焼灰には養分であるカリウムが含まれています。カリウムはセシウムと性質が似ていて競合するため、土壌にカリウムが多いと植物はセシウムを吸収しにくくなります。そのため、燃焼灰を森林にまくことでセシウム吸収を抑制できる可能性があると思います。

横山 ●燃焼灰の施肥で、どれくらいセシウムを抑えられるのですか。

長倉 ●燃焼灰を活用した林地試験はしていますが、一般的なカリウム肥料での林地試験では、セシウムの吸収を抑制す



長倉 淳子 (ながくら じゅんこ)

1973年奈良県生まれ。1995年筑波大学生物資源学類卒業、森林総合研究所入所。2008年東京大学で学位取得。博士(農学)。現在、立地環境研究領域養分動態研究室主任研究員。酸性降下物、土壌乾燥、放射能汚染、施肥など生育環境の変化に対する樹木の応答を調べている。

る効果は確実に出ています。

横山 ●福島県で、林業をやっておられる方には待ち遠しい研究ですね。

長倉 ●燃焼灰の林地への施用には課題も多いのですが、地元の木を製材品として利用した残りの端材を、燃料として利用し、その灰を林地の肥料として利用する循環ができれば素晴らしいと思います。

横山 ●バイオマス利用が、多様な方面にリンクしていくのは大事ですね。高田さんは、樹皮の高度利用をされているとか？

高田 ●現在、小規模ガス化CHPを安定稼働させるための事業で、スギの丸太から高品質チップを生産する技術の開発を行っているのですが、そのときに出る樹皮を有効利用できないか参画機関の皆さんと研究しています。樹皮から抽出したフェノール成分を接着剤や樹脂原料に使えないか模索中です。

横山 ●CHPの規模は？

高田 ●小型のものを地域で数台稼働させて、より上手に使える規模と熱の需要をシミュレーションしているところです。

横山 ●吉田さんの半炭化ペレットでは、樹皮は使わないのですか？

吉田 ●ガス化用の燃料はなるべく灰、鉍物質が少ないことが求められるので、樹皮を取り除いて、木材をチップにしています。その樹皮は、工場内で熱利用するとか、敷料に使われたりしているのですが、成分を見ると、いろいろ有用なものも含まれているので、どう付加価値をつ

けて産業化するかというところで、高田さんが取り組まれている研究につながることにあります。

横山 ●樹皮も木部もそれから燃焼した灰も全部使い切るということで、3人の仕事も相互に関連しているんですね。

吉田 ●バイオマス専門、エネルギー専門という研究室はないのですが、森林、林業、木材産業それぞれの分野の研究者がいて、総合的にプロジェクト単位で協力して研究に取り組めるのが、森林総研の強みかもしれません。

横山 ●木材は、素材として合板や建築材に使うのは当たり前ですが、それ以外にエネルギーに使えるし、それから改質したマテリアルとしても使えますね。

高田 ●セルロースナノファイバー(以下、CNF)や改質リグニンですね。

吉田 ●森林総研では、塗料成分にCNFを配合する実証実験を行っています。大阪大学等の研究グループでは、CNFを少しだけ炭化して電気特性を付与することで、半導体の開発に成功したという報道もありました。ナノテク分野での活用も期待できそうです。

長倉 ●利点はなんですか？

吉田 ●やはり生分解性と劣化しにくい点でしょうか。塗料では、紫外線バリア効果が証明されています。

横山 ●いろんな用途への応用ができそうですね。

ところで、日本の林業は経営不振、管

理が行き届かない、所有者不明など多くの問題を抱えています。山主さんが、自分の所有している森林資源の価値が高いと認識するとだいぶ変わってくると思わうんですね。需要があつて、お金になることがみえれば、その財産を放っておくことはないと思うんです。ぜひ、バイオマスとしての付加価値を高めて、マテリアルやエネルギーとしての活用促進を図りたいですね。

吉田 ●人工林が成熟している中で、蓄積量はあるけれど人手が足りないという問題があると思います。人材を増やすには、利用の立場から魅力ある出口をつくる必要があると、そうした流れを作れるといいのですが……。

横山 ●農林水産省の日本のバイオマス資源量のデータを見ると、余力はそれほど多くないんです。それでも、供給の最大の資源はやはり森林です。ところが伐採や搬送そして再び木を育てることにコストがかかる、人がいないという。そこをなんとか突破して、森林資源を有効に使わないと……。

最近のバイオマスの需要はすごいものがあります。バイオ発電や熱利用もあるし、木材をガス化して液化燃料を作る「FT合成」などの技術で、航空用燃料のSAF (Sustainable aviation fuel) も木材から作ることができます。また、バイオプラスチックも増えてきています。今は、幸か不幸かまだ生産量は少ないです



高田 依里 (たかた えり)

1984年福岡県生まれ。2008年九州大学農学部卒業。宮崎大学工学部研究員を経て、2014年九州大学大学院生物資源環境科学府修了。博士(農学)。2017年森林総合研究所に採用。専門は木材化学、木質バイオマス変換学。これまで主にセルロース系バイオエタノール生産や木質リグニンの高度利用に関するテーマに取り組み、新技術の開発と、その生産性・経済性等の評価研究に従事。

が、これらの先進技術が、やがて普及してくるとバイオマスといえども、資源が足りなくなります。そのときの頼りは、やはり再生産可能な循環利用資源である森林資源なんです。

吉田 ● 食料とも競合しないところが大きな利点でもありますね。

高田 ● 今はF-I-T (再生可能エネルギーの固定価格買取制度) があって、木質バイオマスで発電した電力を売ることができるので、未利用資源を山から持ち出すシステムが各地で出来上がってきているのが、とてもいいことだと思います。でも「F-I-Tが終わったらやめる」という事業者さんもいて、せっかくシステム作りができたのに、この先、未利用資源をうまく使いこなしていけるのか心配です。付加価値をつけたマテリアル利用とエネルギー利用をうまく使い分けながら、カスケード利用できる仕組み作りが必要だと思っています。

吉田 ● 制度が変わっても持続的に森林資源を使い続けられる仕組みであって欲しいですね。いま、未利用材でのバイオマス発電は1kWhあたり40円の買い取りでコストを下支えしているので、国産材(地域材)の利用が進んでうまく回ると思いますが、一方で大規模な発電所は、輸入燃料に頼るところもあります。特にペレットに関しては、国産が14万トンに対して輸入が300万トンを超える勢いなので、持続可能性を考慮しながらなるべ

く国産の原料を使っていくような発電にしていくなきゃいけないと思います。

横山 ● カナダとベトナムからの輸入が多いですね。「半炭化」で付加価値をあげることも、今後もっと増えると思います。そうした中、やはり国内資源の有効利用を進めることで林業を活性化し、国内の林家がもっと潤うようになって欲しいですね。

吉田 ● 「半炭化」ということで言いますと、大手の石油会社で、E F B (アブラヤシ房から果実を取り除いた外側の部分) など東南アジアの未利用資源を半炭化して、それを石炭火力に使うという動きも出てきてます。

横山 ● 「半炭化」の技術は木材チップ以外でも使えるのですか？

吉田 ● リグノセルロース系(木質や草本)のものであれば基本的には使えます。産業用には、そうした火力発電燃料としての使い方が一方にあり、地域資源という立場からは、小規模な熱利用や娯楽用として使えたらと考えています。

横山 ● 日本の森林資源の活性化は、確実にCO₂の削減につながるし、林家が潤えば、いろんな意味で波及効果は出てきますね。

吉田 ● 燃料に薪を使っていた時代には、地元の人々は薪を介して山の循環利用の手助けをしていたわけです。それが灯油に替わって中東などの海外に対価が流れてしまった。それがまた地域のバイオマス燃料に替われば、支払先が地域に戻っ

て、お金の循環にもつながります。少しづつでもそういう循環ができれば、それが呼び水になって、流れが大きくなっていくんじゃないかと思うのです。

長倉 ● 地域の山が潤えば、手入れがされて防災の面でもいいですし、シカやイノシシなどの獣害抑止にもつながるかもしれませんね。

吉田 ● 多面的な効果が期待できますね。

横山 ● ネットワークはやはりコストですね。電気自動車は、これからどんどん普及すると思いますし、すみ分けとしてバイオエタノールの利用も進めるといいと思います。ただ、やはり自給という面でなかなか太刀打ちが難しい。

アメリカのアルコールって、すごいんですよ。一面コーン畑で、栽培面積が日本の国土とほぼ同じですから。少人数で大規模栽培し生産効率が非常に高いから安いです。99パーセント純度のエタノールがリッター80円切るんだから。

長倉 ● 国産、頑張らないと……。

横山 ● 森林は、CO₂の吸収・貯蔵という面でも大きいですね。

植物は根から養分を吸って、光合成で大気中のCO₂を取り込んでからだを作るわけですね。もちろん、いずれは朽ち果てて土壌に還元され、一部は土壌中炭素になるわけですが、その土壌中の炭素の量は、どれくらいの蓄積になるのか、そうした研究はされているのでしょうか？

長倉 ● 森林土壌は温室効果ガスであるC



吉田 貴紘 (よした たかひろ)

1972年岩手県生まれ。2000年東北大学大学院工学研究科修了。博士(工学)。NEDO研究員(石炭の高度利用)、産総研特別研究員(横山所長(当時)の下でバイオマスのガス化研究に従事)を経て、2003年森林総合研究所入所。2019年ドイツバイオマス研究センター客員研究員。現在、木材加工・特性研究領域木材乾燥研究室長。木質固体燃料の高性能化技術開発の他、国際標準化活動なども行っている。

CO₂の放出源でもあります。吸収源としてとても重要です。土壌の炭素蓄積量は、私の所属する研究領域で調べています。みんなで深さ1メートルまで土壌を掘ったり、林床の落葉落枝や倒木を集めたりして、森林土壌のどこにどのくらい炭素が貯まっているか測っています。

横山●その計測は、結構大変でしょうね。時間かかるんじゃないですか。

長倉●大変です(笑)。

横山●北方林では、1ヘクタールに土壌中炭素が何百トンと溜まっているそうです。ものすごい量ですよ。

それに対して熱帯林の方は、地上部はすごく鬱蒼(うつそう)としているけれど、土壌中炭素は少ないそうですね。

長倉●はい。土壌中の有機物が分解されると炭素を放出します。分解は温度の影響を強く受け、北方林では遅く熱帯林では早いです。

横山●バイオエタノールをコーンから作ると発酵に伴ってCO₂が出ます。植物由来だからカーボンニュートラルですが、それを地中に埋めてしまおうというのがCCS(CO₂回収貯留技術)の狙いです。あれは、CO₂削減に非常に大きい効果があると思います。もし、同時にコーンの残渣が土壌に蓄積されるなら、それがまたCO₂の削減にもなるわけですね。

吉田●そうなる1年生のコーンも土壌への蓄積が期待できますね。

横山●草本系と木質系のバイオマスを用

途によってうまく使い分けるといいと思います。液体燃料では車だとやはりバイオエタノールです。それから食用油の廃油も使えるバイオディーゼル。木材からだと「FT合成」で液体燃料ができます。現状では、バイオエタノールの生産は、ブラジルとアメリカで世界の8割を占めています。年間1億キロリットルを超えています。それに対して木質系の「FT合成」はまだまだ少ない。当面は草本系から作る燃料が多くを占めるでしょう。将来は航空用燃料などは、木質系が増えると思います。

横山●木材でも未利用資源から作ったものが、普及すると本当にいいですね。

高田●日本には森林という立派な資源があるわけで、それをもっと上手に使わない手はないと思います。

横山●木からは衣服も作れるしね。

吉田●はい繊維も採れます。森林は衣食住を支えることができるんです。

木の手持っている価値を高めるという意味では、魚や肉の加工に例えるとわかりやすいかもしれません。赤身やサーロインに相当する部分は製材品などとしてしっかりと使い、アラや残渣といいますが、加工後の残りの枝葉や樹皮を燃料や新素材などに形を変えて、余さず価値あるものにしていくのがベストですね。

横山●国内でも、草本作物のスイートソルガム(多汁質で糖を多く含むイネ科作物)が試験的には栽培されています。

高田●収量が多いものであれば国内産の草本系も利用できると思われませんか？

横山●できるんじゃないですかね。ただまだ実験的にやっているわけで、本格的な話はこれからだと思います。

高田●国産のバイオエタノールも？

横山●おっしゃる通りで、やはり国産のバイオエタノールも視野に入れないといけないと思うんですね。たとえば耕作放棄地に多収米を植えるとか、スイートソルガムを植えるとか。

長倉●草本・木質の双方からエタノールが作れるようになると思いますね。

横山●適材適所とカスケード利用ですね。これから、森林総研の研究者の方々に期待したいのは、総合的な森林資源の利活用の研究です。やはり森林の持つポテンシャルは、バイオマスの中でもいちばん大きいですから。材としての利用は当然ですが、さらには未利用材や残材、廃材、焼却灰まで含めて、それらを持続的循環的に利活用できる総合的なシステムの構築を目指していただけたならと思います。もちろんエネルギーとしても、熱利用もできる有機物なわけです。未利用資源が高付加価値の資産となり林業経営が健全化して、次世代の森林の育成へとつながるなら、それは素晴らしいことだと思います。