

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

14卷3号 2008



日本木材学会九州支部

目 次

総説・主張

- とっくの昔からナノファイバー：古くて新しいナノレベル ……近藤 哲男 36

レビュー

- スギ心持ちの柱材の高品質乾燥法に関する研究 ……片桐 幸彦 40

トピックス

- 都城盆地エリアにおけるバイオマスのサーマルおよび ……藤本 英人 44
マテリアルの徹底利用ー都市エリア産学官連携促進事業の取り組みー

トピックス

- 日本最大規模・最新鋭製材工場視察報告 ……藤本 登留 48

ローカルレター

- 第6回 佐賀発「虹の松原のショウロについて」 ……永守 直樹 50

- 編集後記 ……52
-

とっくの昔からナノファイバー： 古くて新しいナノレベル

近藤 哲男



1. はじめに

ナノスケールでの物質の表面構造、界面での相互作用を明らかにし、それを技術に応用する目的でのナノテクノロジーは、これまでの材料科学の概念を変えた。また、その概念は生物体にまで拡大され、ナノバイオテクノロジーと称されている。さらに、高分子と生物体とのナノメートル (nm) スケールでの相互作用の利用は、新たな構造体を生み出す可能性を秘めているとみなされている。

「ナノ」というスケールへの注目は、生体系では新しいことではない。しかし、いったん「ナノテクノロジー」となると、これまでの基礎知見の集積だけでは不十分で、ナノレベルの基礎知見を有機的に繋げながら、それに新たな発想を導入してコンセプトを構築するのがナノである。本稿では、その古くて新しいセルロースに関するナノファイバーテクノロジーを概説する。

2. ボトムアップ型ナノファイバーテクノロジー -酢酸菌のセルロース合成をモデルとして-

図1に樹木におけるボトムアップ的に形成される階層構造形成の模式図をしめす。石油由来の物質生産から加工には、これに例示されるようなボトムアップ的に形成される階層構造形成のプロセスは一般に用いられない。では、どのように構造構築が行われているのか？一言でいえば、鋳型を作りそこに流動性にした物質を流し込み、固めて形にするのである。ここには、規則正しい、ボトムアップ的階層構造形成は期待できない。

樹木の細胞壁の主成分であるセルロースは、まさに典型的な階層構造形成を行っている。その形成モデルとしてしばしば取り上げられ

るのが、微生物によるセルロースナノファイバー産生である。

ここで、一般にナノファイバーとは、直径が1-100 nm、長さが直径の100倍以上（アスペクト比：軸比100以上）のファイバー状物質と定義される。この意味において、天然繊維や合成繊維ばかりでなく、低分子化合物の形成する超分子ナノファイバー、無機ナノファイバー、カーボンナノチューブ、カーボンナノファイバー、微生物の産生するセルロースナノファイバーなども含まれる。

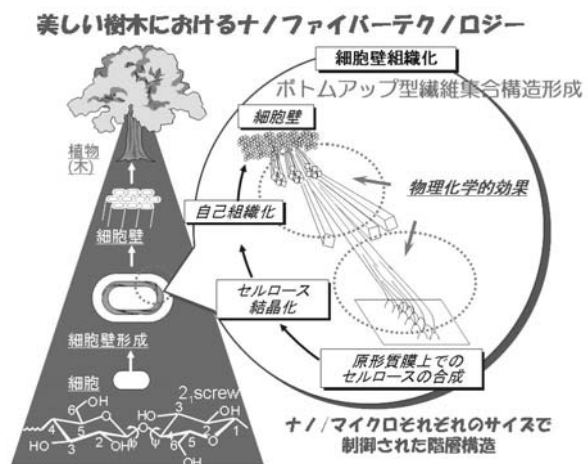


図1 樹木における美しい
ナノファイバーテクノロジー

セルロースは主に高等植物によってつくられるが、微生物の中にもセルロースをつくるものが知られている。そのような微生物としては *Acetobacter* 属、*Agrobacterium* 属、*Rhizobium* 属、*Sarcina* 属、*Pseudomonas* 属、*Achromobacter* 属、*Alcaligenes* 属、*Aerobacter* 属、*Azotobacter* 属などがある¹⁾。これらの微生物の多くは、共生や感染に必要な粘着物質としてセルロースを産生する²⁾。このような微生物

物により産生されたセルロースをマイクロバイアルセルロースと呼ぶ。その中で *Acetobacter* 属の細菌である酢酸菌 (*Acetobacter xylinum* = *Gluconacetobacter xylinus*) は、菌体外に幅約 50 nm、厚さ 10 nm のリボン状の結晶性セルロースナノファイバーを産生する (酢酸菌が産生するセルロースはバクテリアセルロースとも呼ばれている)。

酢酸菌は好気性のグラム陰性菌で、大きさは菌株によって若干異なるが、幅 0.5 ~ 1 μm 、長軸方向の長さが 2 ~ 10 μm 程度である。この菌は、培地中のグルコースを炭素源にしてセルロースを合成し、セルロースナノファイバーを菌体外に分泌する際の噴出するエネルギーを駆動力として分泌方向と逆方向に走行する。それぞれの菌が任意の方向に走行するため、結果として分泌したナノファイバーが 3次元のネットワークを形成し、ペリクルと呼ばれるゲル状の膜ができあがる (図 2)。

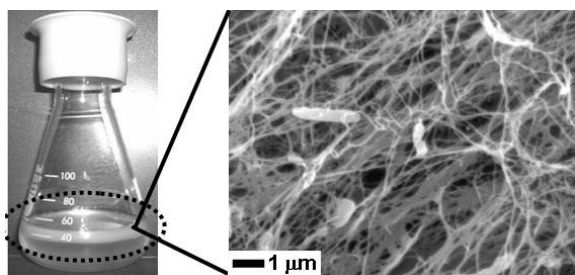


図 2 (左)酢酸菌が産生したマイクロバイアルセルロースペリクルと(右)その電子顕微鏡写真

このペリクルは、食品の分野ではナタ・デ・ココ (*Nata de Coco*) として知られている。また、上述のように、ペリクルはネットワーク構造を有することから異方性をもたないため、圧搾乾燥して得られるシートは、全方向に対して強度が高く 15 GPa 以上という高いヤング率を持っている²⁾。この特性を生かして、強度と特異的な音響特性を利用した、合板の補強材や高価なステレオヘッドフォンやスピーカーの音響振動板 (スピーカーコーン) としても用いられてきた。

近年、ナノファイバーの研究が盛んに行われるようになるにつれて、生物がつくり出す

ナノファイバーとして、酢酸菌産生セルロースナノファイバーが新しい材料創製に向けて脚光を浴びている。ということは、樹木細胞壁のマイクロメートルサイズのセルロースマイクロフィブリルがナノファイバーに容易に変換できれば、新たな展開が拓けてくる。

セルロース分子の合成プロセスでは、ウリジン 2 リン酸グルコース (UDP-グルコース:UDPG) を前駆物質として細胞膜上のセルロース合成酵素が β -1.4 グルカン鎖を合成する。この合成酵素がセルロース合成顆粒 (ターミナルコンプレックス:TC) と呼ばれる集合体を形成する。その結果、そこから生合成されたセルロース高分子鎖は、合成とほぼ同時に自己集合し、最終的に菌体外に結晶性ナノファイバーが産生される。酢酸菌表面に存在する TC は、3 個ずつの TC サブユニットからなり、それらが細胞の長軸にほぼ平行に (やや角度がある) 一列に直線に並んで構成されている。TC サブユニットより生合成され、押し出し孔から培地中に噴出された直径 1.5 nm のフィブリルをセルロースサブエレメンタリーフィブリル、サブエレメンタリーフィブリルが数本集まって直径 4 nm 程度のマイクロフィブリルが形成され、さらにマイクロフィブリルが集合してリボン状になり、その束一本を「セルロースリボン」あるいは「バンドル」と呼ぶ (図 2 右図)。また、酢酸菌は菌体の長軸の周りを右回りに自己回転しながら菌体外へファイバーを噴出する³⁾ ため、ねじれたナノファイバーを与える。このようなファイバー分泌の反作用から、菌は噴出方向と逆方向に 25°C で約 2 $\mu\text{m}/\text{min}$. の速度で走行する⁴⁾。この菌のランタム走行のためにナノファイバーが 3次元のネットワーク構造を形成し、水分含量 98% 以上のペリクルと呼ばれるゲル状膜となる。このように、セルロース分子の生合成からはじまり、それが自己凝集しながら高次の構造を形成していくボトムアップ的構造形成過程が、酢酸菌のセルロース合成に象徴的に現れている。

3. トップダウン型ナノファイバーテクノロジー—ペリクルの三次元ネットワークから“ナノセルロース”の創製—

最近著者らは、水に不溶な天然セルロース繊維を、水中でナノレベルから分子レベルにいたるまで迅速に微細化・ナノ分散させ、見かけ上、透明な水溶液を調製する水中カウンターコリジョン（水中対向衝突：ACC法 Aqueous Counter Collision）法を開発した^{5,6)}。これは、水に懸濁した天然セルロース繊維をチャンバー中で相対する二つのノズルに同時に分離し、両方から一点に向かって噴射、衝突（衝突圧 200 MPa \cong 2000 気圧、衝突速度マッハ²⁾ させる技術である。200 MPa という高圧をかけながらも、セルロースの化学構造や、重合度は変化せず、相互作用のみを開裂させることができるという特徴を有する。この手法は、セルロース利用におけるコストの大幅な削減、ならびに環境汚染低減への展開につながるものと期待される。

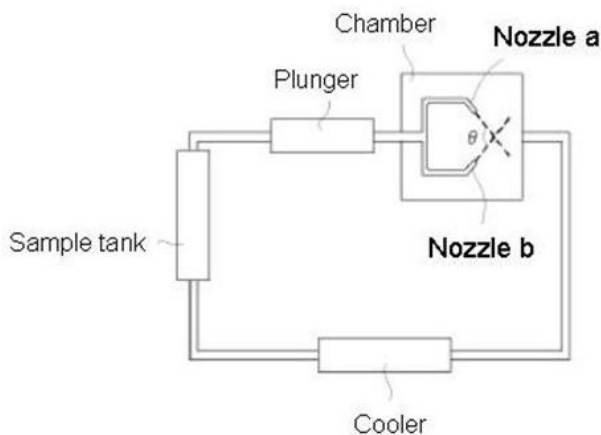


図3 ACC処理装置の概略図

この手法を用いて、マイクロバイアルセルロースペリクルの微細化処理を行った。前述のようにペリクルは、セルロースナノファイバーが3次元ネットワーク構造を形成したものである。ペリクルを用いるときは、このネットワークとしての全体構造が、材料としての特性を決定する。もし、このペリクルをACC法で処理することで、シングルナノファイバーの分散水へ変換が可能となれば、ナノ

ファイバー1本の性質が中心となった材料特性が発現することになると考えられる。そこで、ペリクルをACC処理した結果、水中で安定的に分散するナノファイバー（＝ナノセルロース）が創製された（図4）。

しかも、このファイバーが予想をはるかに上回る極めて強い吸着力を示すことを見出した⁷⁾。この現象は本処理により、ファイバー表面が毛羽立ち、その毛羽立ちが数十ナノから数ナノ程度、さらにはサブナノサイズまで階層的に樹形図のようになっていることに起因するという知見を得ている。

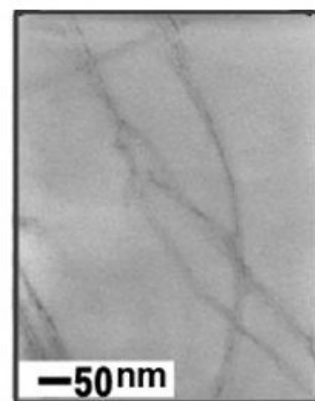


図4 水中カウンターコリジョン法で処理して得られた水に分散したシングルナノファイバー（ナノセルロース）

また、このナノセルロースをろ紙上に塗布すると、親水性であるろ紙表面の性質を、耐水性、耐油性に変えることが可能であることを見いだした。このことは、ナノセルロースの新たな天然コーティング剤としての可能性を示している⁸⁾。さらに、このナノセルロースとポリ乳酸とをナノ複合化すると、ナノセルロースがポリ乳酸の結晶化の足場になり、結晶化速度が極めて向上することも見出している⁹⁾。

4. おわりに

本稿ではまず、樹木細胞壁セルロースの階層構造形成されたモデルとして、酢酸菌が産生したセルロースナノファイバーを紹介した。しかし、同じセルロースであっても、木材セ

ルロスやコットンのような植物由来のセルロースファイバーと微生物由来のマイクロバイアルセルロースでは、ファイバーの構造や結晶性、また結晶体がどのように存在するかというように階層構造が大きく異なる。これは生物体がセルロースを作り出すため、生物によって固有の構造を形成することによる。さらに、近年の研究により、従来の天然セルロース素材とマイクロバイアルセルロースとは、特にその表面特性が著しく異なることが分かってきた。このことは、同じセルロース分子でも、構造の違いにより発現される機能が全く異なることを示唆する。今後更なる実用化を進めるためにも、マイクロバイアルセルロースの構造と機能の相関について基礎的知見を深める必要がある。

また天然セルロース繊維は、もともとナノファイバーから構成されているため、その調製はマイクロメートル(μm)サイズのセルロース素材を微細繊維化することから始まる。現在はまだ、その微細化の段階での検討が主であるが、セルロース素材ではグルコース残基の性質に由来する親水や疎水などの性質が局在する。この特性を生かすナノファイバーの応用展開としては、その構造的長をうまく用いたコンポジット法の開発が挙げられる。しかし、系内でナノファイバーを均一分散させることが難しく課題はまだ多い。

本稿ではさらに、天然セルロース繊維のトップダウン的加工法として、繊維表面から分子やナノレベルの分子集合体を引き剥がすことにより微細化し、得られるナノファイバーの幅が処理回数により調整できるという著者らの提案した水中カウンターコリジョン法の概略を述べた。しかし、現時点では、本方法は改良途上にある。より多量に、より広範囲で、そして、より環境に優しく、セルロース系材料を利用するための本方法を用いた基礎研究は、まだ、その途についたばかりであり、今後更なる検討が必要であることは言うまでもない。さらに、材料形成法のみならず、酵素分解性などの分解エネルギー化の

前処理、その他、種々の方向への展開を現在検討しているところである。

最後に、このようなバイオマスからのナノファイバー材料の特徴を生かした新しい機能材料が創製されることを期待してやまない。それは、著者がCO₂削減のためには、バイオマスをマテリアルとして長く使用し、なおかつ石油由来の物質の代替として広範囲に使用することだという信念に基づく。そして、その際にボトムアップ的に形成される階層構造が、それぞれの繊維に独特の機能を付加することを考慮すべきであること、さらに、それらの相関を制御できれば、繊維に新規機能を発現させる可能性があることを、併せて少しでもご理解いただければ幸甚である。

(文献)

- 1) P. Ross *et al. Microbiol. Rev.*, 55, 35 (1991)
- 2) セルロース学会編, セルロースの事典, 朝倉書店 (2000)
- 3) C. Heigler, R. M. Brown, Jr., *Science*, 210, 4472 (1980)
- 4) R. M. Brown, Jr. *et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 73, 4565 (1976)
- 5) 近藤哲男ら、特開 2005-270891.
- 6) 近藤哲男, *Cellulose Commun.*, 12, 189 (2005)
- 7) 近藤哲男、笠井稚子、特願 2007-222806.
- 8) 近藤哲男、笠井稚子、特願 2006-25869.
- 9) 近藤哲男、特願 2006-143091.

(こんどうてつお：九州大学バイオアーキテクチャーセンター)

スギ心持ち柱材の高品質乾燥法に関する研究

片桐 幸彦



1. はじめに

スギを住宅建築用の構造材、特に心持ち柱材として使用する際、最近では、工期の短縮化やプレカット材の増加、瑕疵保証問題などにより乾燥材としての需要が高まっている。

しかし、スギ心持ち柱材の乾燥では、乾燥の進行に伴う乾燥応力の発現により表面割れが発生しやすく、材料強度性能とは直接関連しない“見た目の悪さ”という商品価値の低下により、結果的に生産歩留まりが悪化し、乾燥経費の回収が困難になることが多い。

従来の乾燥方法で、表面割れの発生を抑制しながらスギ心持ち材を乾燥させるためには、一部の特殊な乾燥装置を使用する場合を除けば、天然乾燥、人工乾燥を問わず、材表面からの含有水分の蒸発速度を何らかの形で調節しながら乾燥させる以外に有効な手段がなかった。このことは乾燥時間の長期化の原因となるとともに、乾燥スケジュールを複雑化させ、コスト面だけでなく技術的な面においても乾燥をより一層困難なものとする要因となった。

近年、乾燥材の表面割れ抑制への要求が益々厳しくなっていく流れの中で、これまでスギ心持ち構造用材の人工乾燥方法の主流であった中温度域での熱気乾燥では、需用者の要求するレベルの表面割れの抑制は困難となった。こうした状況の中、高温度域での乾燥方法により、表面割れを大幅に低減できる高温低湿乾燥法が開発され、その効果の高さと乾燥スケジュールの単純さ、設定のわかりやすさにより全国的に普及してきた。高温による乾燥法では乾燥時間も短縮化されるため、技術面だけでなく、コスト面でも有利であり、高温乾燥が主流となりつつある。

しかし、高温乾燥材の生産量が増大していく中で、これまでのスギ心持ち構造材の中温度域乾燥時とは異なる問題が浮上してきた。それは内部割れの発生と高温による材質劣化の問題である。

そこで本研究では、スギ乾燥材の高品質化およびその生産技術の普及に資することを目的として、スギ心持ち柱材の乾燥について、高温低湿処理と湿度無制御による人工乾燥との連係乾燥法による高品質乾燥法の検討を行うとともに、高温低湿処理時間の長さ、処理温度の違いが乾燥材に与える影響や乾燥材に発生した表面割れの、その後の温湿度条件の変化による推移などを明らかにしようとした。

2. 低コスト表面割れ防止技術の開発

スギの心持ち柱材の乾燥について、表面割れ抑制と低コスト化を目的として、乾燥前に施す高温低湿処理の効果を検討するとともに、簡易な乾燥機を用いた低コストな表面割れ防止乾燥システムの可能性を検討した。具体的には、スギ正角材（長さ約 300cm、辺長 120mm）について、高温低湿処理を行った後人工乾燥を行う場合と、そのまま人工乾燥した場合とで比較した。高温低湿処理の条件は、98℃の蒸煮を6時間行い、その直後に乾球温度 120℃、湿球温度 90℃ の乾燥処理を12時間行うもので、材全体の乾燥を期待しておらず、材の表層部を割れずに乾燥し、同時に引張のドライングセットを形成するためのものであるため、このような短時間の処理とした。また、人工乾燥は、乾球温度 50℃に一定で、湿度調整は行わずに成り行きに任せた。

その結果、高温低湿処理材では、処理前に既に微細な割れを生じていた材が多数あった

ためか、高温低湿処理によりさらに表面割れ幅が増大した。しかし、その後の人工乾燥経過に伴い、表面割れの幅、長さ共に徐々に小さくなる傾向が見られた。なお、上述のように処理前に微細な表面割れを生じた材が多かったが、処理後に新たに表面割れが発生することはなかった。未処理材では、人工乾燥経過に伴い、表面割れの幅、長さ共に増大し、乾燥終了時点では、未処理材と処理材の差は非常に大きくなった。

一方、いずれの乾燥段階においても高温乾燥で見られるような内部割れは、高温低湿処理材、未処理材ともに観察されなかった。

高温低湿処理材の表層部の収縮率は、生材からの自然乾燥における表層部の収縮率（基準収縮率）に比べて約3%程度小さくなっており、これが高温低湿処理により形成されたドラインセットと見なすことができる。このように、通常自然乾燥において乾燥初期の材表層部で起こる乾燥収縮が高温低湿処理によって抑えられており、乾燥終期に生じる材内部の乾燥収縮と共に、表面割れが小さくなったと考えられる。したがって、このようなドラインセットを材表層部に形成できれば、湿度調節を行わずに乾燥しても、乾燥経過中に発生する表面割れを抑制することが可能であると考えられる。また、乾燥終了時点においては両試験材とも2.5%程度の収縮率を示し、高温低湿処理の有無による明確な差は認められない。しかし前述のように、高温低湿処理材の表層部はドラインセットにより収縮率が抑えられていることから、高温低湿処理材の表層部には圧縮応力が作用していると推測される。したがって、高温低湿処理材には、引張応力に起因する表面割れはその後の使用条件下でも、容易に発生しないと考えられる。

材色の変化を見ると、高温低湿処理材は辺材部分の明度（ L^* ）が低下し、目視における辺材と心材の差が不明瞭になった。しかし、モルダ一仕上げにより材表層部を削り取ると、高温低湿処理材と未処理材の辺材の明度差は

小さくなった。一方、心材の赤み（ a^* ）は高温低湿処理材では未処理材に比べ常に低い値を示した。

以上のように、低コストで表面割れを防止できる乾燥法の可能性が見出された。

3. 高温低湿処理乾燥材の品質に及ぼす処理時間の影響

乾燥前に施す高温低湿処理には表面割れを抑制する効果が認められたが、処理時間の長さや材の性状により、乾燥仕上がりの品質が大きく異なることが予想される。

そこで、高温低湿処理時間の長さにより、乾燥材の品質がどのように変化するかを、実用型高温蒸気式乾燥機を用いて検討した。具体的には、伐倒直後のスギ丸太から製材した正角材（長さ約300cm、辺長135mm）を、収容材積約30 m³の高温蒸気式乾燥機を用いて高温低湿処理を行ってから、連続的に人工乾燥させた。高温低湿処理の条件は、乾燥室内の乾湿球温度がともに98°Cに達してから3時間程度の蒸煮を行い、その直後に乾球温度120°C、湿球温度90°Cの処理を18時間（処理条件1）と48時間（処理条件2）行う2条件で比較した。その後の人工乾燥は、いずれの場合も乾球温度105~90°C、湿球温度75~60°Cの乾燥条件で、含水率試験体に打ち込んだ電気抵抗式含水率計の測定値が10%以下になった時点で終了した。

乾燥後の材の表面割れの最大幅は、処理条件1では平均で1.88mmであったのに対して、処理条件2では平均で1.61mmとわずかに小さいが、平均値の差の検定を行うと、1%の危険率で有意であった。また、一般の高温乾燥で見られるような内部割れは、処理条件1では平均で7.9 mm²であるのに対して、処理条件2では平均で39.8 mm²と大きく、その発生割合も、処理条件1の10.0%に対して、処理条件2は53.8%と高かった。

このように、処理時間が長くなると表面割れの発生およびその大きさが抑制されると同時に、内部割れが増大することが確認された。

また、試験材の表層部の含水率はいずれも13%程度であったが、中心部の含水率は処理時間の短い処理条件1が約23%であるのに比べて処理条件2では約33%であり、両者に10%程度の大きな差が見られた。これらのことから、高温低湿処理により表層部を急激に乾燥させることで、表層部の水分拡散係数が小さくなり、材内部の含水率の減少が妨げられたと推察される。したがって、材内部まで効率よく乾燥させるためには、高温低湿処理の処理時間を短縮し、表層部への高温低湿処理の悪影響をできるだけ小さくすることが必要であると考えられる。

ここで試験材を乾燥前の含水率により30～60%、60～90%、90～120%の3グループに分け、それぞれの乾燥後における表面割れの最大幅について平均値の差の検定を行うと、60～90%と90～120%のグループ間では1%の危険率で有意であった。したがって、含水率がある一定範囲内より高い材では、表層部が十分に乾燥せず、表面割れ抑制に効果的なドラインセットを付加することができないか、あるいは内層部の乾燥が不十分であると考えられる。一方、30～60%と60～90%のグループ間では、前者で高い平均値を示すが、両者の間に有意な差は見られなかった。しかし、両グループの幅1mm以上の比較的明確な表面割れについて平均値の差の検定を行うと、10%の危険率で有意な差が見られた。過去の研究においても、製材後に長く放置され、含水率が低下した材でも表面割れが増加することが指摘されており、含水率がある一定範囲内より低い材では、高温低湿処理による高温下でのドラインセットが処理前からの含水率低下分しか作用しないため、表面割れの抑制効果が少なくなる可能性も考えられる。高温低湿処理材の乾燥前含水率を把握しておくことが、効果的な高温低湿処理を行うためには非常に重要である。

4. ドラインセットを指標とした適正割れ止め処理温度の検討

これまで述べてきたように、心持ち柱材の乾燥においては、乾燥前に高温低湿処理を行うことが表面割れ抑制に対して有効であるが、処理時間の長さによっては、内部割れの発生も引き起こしやすい。それならば、内部割れの発生しにくい中温度域での前処理を採用し、高温低湿処理と同様のドラインセットを材表層部に形成できれば、表面割れも内部割れも抑制できる可能性が考えられる。そこで、前処理温度の違いが、形成されるドラインセットの大きさに及ぼす影響を調べた。具体的には、スギ心持ち正角材（長さ約300cm、辺長120mm）について、高温低湿処理条件として、乾燥室内の乾湿球温度がともに98℃に達してから6時間程度の蒸煮を行い、その直後に乾球温度120℃、湿球温度90℃の処理を12時間行う処理条件1と、中温前処理条件として乾燥室内の乾湿球温度がともに80℃に達してから6時間程度の蒸煮を行い、その直後に乾球温度80℃、湿球温度50℃の処理を12時間行う処理条件2の2条件で比較を行った。さらに両者を乾燥温度50℃で人工乾燥し、表面割れの発生状況を調べた。

その結果、処理条件1では、材表層部に形成されたドラインセット量が3%程度であったのに比べ、処理条件2では、1%程度と小さかった。また、処理条件1では含水率の低下に伴いドラインセット量が大きくなるのに対し、処理条件2では変化が少なかった。

人工乾燥後の最大割れ幅を比較すると、処理条件1では1.0mmであるのに対して処理条件2では3.5mmであった。さらに1.5年経過後には、処理条件1の最大割れ幅は0.1mmにまで縮小したのに対して、処理条件2は3.1mmで、ほとんど乾燥後のままであった。

以上のことから、処理温度が高い場合には、ごく表層部分の乾燥が短時間で急激に進行することで、形成されるドラインセットが非常に大きなものとなることが分かる。したがって、より大きなドラインセットを形成させるには、処理温度を高くすることと、表

層部分の含水率を急激に低くすることが効果的であり、とくに処理温度の高さが大きな影響を及ぼすと考えられる。

5. 乾燥材の高品質化に向けた人工乾燥後処理について

スギ心持ち柱材の乾燥に高温低湿処理は非常に有効であるが、それでも表面割れの発生を完全に防ぐことはできず、乾燥終了後の柱材に表面割れが残ってしまうことが多い。スギ乾燥材製品の意匠的価値の向上のためには、この乾燥材に残った表面割れを消失あるいは縮小させる技術の開発が急務であると考えられる。そこで、スギ心持ち乾燥柱材の表面割れを消失・縮小可能な乾燥後処理技術開発のための基礎的資料を得るため、中温度域での吸放湿処理による、人工乾燥材の表面割れの変化挙動について検討した。具体的には、表面割れのあるスギ横断面材(120×120×20mm)について、単純な2工程からなる吸放湿処理試験を行った。これは、工程1として一定温度で蒸煮をし、工程2として一定温度で人工乾燥させる方法であり、蒸煮温度、蒸煮時間、乾燥温度、乾燥時間の4要因それぞれに3水準を設定して $L_{27}3$ 水準系直交表に割り付け、試験を行った。人工乾燥終了後に試験材の重量と表面割れの最大幅を測定し、この時点での表面割れの最大幅を処理直後の表面割れ幅とした。さらに試験材を8ヶ月放置した後にも試験材の重量と表面割れの最大幅を測定し、この時点での表面割れの最大幅を最終の表面割れ幅とした。これらの表面割れ幅について、全乾状態の表面割れ幅から減じた差を表面割れの閉塞量として算出し、これを全乾状態の表面割れ幅で除した商を、各処理条件による表面割れの回復率として百分率により表した。

その結果、設定した要因の中で表面割れ回復率に影響を及ぼしているのは、乾燥温度(5%有意)のみであり、その値から、表面割れの回復には乾燥温度が低いほど効果的と考えられる。また、処理直後の試験材と8ヶ月後の試験材について、含水率の変化量と表

面割れ回復率の変化量との関係を見ると、正の相関が見られた。ここで、処理直後から8ヶ月後にかけての試験材の含水率変化量について統計分析を行うと、有意に影響を及ぼす要因として乾燥温度(1%有意)が挙げられる。そこで、乾燥温度と8ヶ月後の含水率平均値との関係を見ると、乾燥温度の高い条件では、より低い条件に比べて平衡含水率が低下していた。したがって、表面割れ回復率の低下をもたらす平衡含水率の低下を防ぐためには、乾燥温度を60℃以下に抑えることが効果的と考えられる。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、ご指導を賜りました九州大学大学院農学研究科村瀬教授、小田教授、藤本登留准教授に深く感謝の意を表します。また、現地調査や試験体の運搬、測定に多大なご協力を頂いた関係各位に厚く御礼申し上げます。

トピックス

都城盆地エリアにおけるバイオマスのサーマル およびマテリアルの徹底利用

藤 本 英 人



1. はじめに

都市エリア産学官連携促進事業とは、文部科学省地域学術振興施策に基づいて平成14年度から行われている事業である。この事業の目的は以下のようになっている。”地域の個性発揮を重視し、大学等の「知恵」を活用して新技術シーズを生み出し、新規事業等の創出、研究開発型の地域産業の育成等を図るとともに、自立的かつ継続的な産学官連携基盤の構築を目指す”。

この事業には以下の3種のメニューがある。

- ・連携基盤整備型（年間5千万円×3年）
- ・一般型（年間1億円×3年）
- ・発展型（年間2億円×3年）

都城盆地エリアで申請し、採択されたのは一般型であった。我々のエリアには、良くも悪くも、この地域ならではの特長、そしてこの地域特有の問題、つまり「個性」がある。まず第一に、畜産業が盛んであることに起因する地下水の汚染が大きな問題である。第二として、豊富な森林資源と林産業の集積が特長である。これらの「個性」を生かして、環境改善と林業・林産業の両者の融合を試みたのが研究の発端である。すなわち、林地残材などの未利用木質バイオマスから調製した低品質木炭を助燃剤として、自燃しない豚糞を燃焼させることによる窒素浄化を試みた。助燃剤としてこのような低品質木炭を選んだのは、農山村にわずかでも働き口と現金収入をもたらしたかったためである。この過程で生じる熱を、まず木材乾燥に使い、その廃熱を焼酎廃液の乾燥に用い、さらにその廃熱で微細藻類を培養するという熱の徹底活用（カスケード利用）を試みた。これが一つの柱であ

る。もう一つの柱は、木材乾燥で出る精油、焼却灰さらには二酸化炭素まで、一連の熱利用の過程で発生する物質の徹底利用である。

本課題では、有機化学、無機化学、生物などの多岐にわたる分野で研究がなされ、それぞれに成果が上がっているが、本稿では、主に木材に関係した成果を中心に報告する。

2. 事業の概要

本事業の中核機関は宮崎県産業支援財団、研究総括は宮崎県木材利用技術センターの有馬孝禮所長であった。

前述したように、本事業は大きな2本の柱からなる。一本目は助燃剤（低品質木炭）を用いた豚糞の燃焼と、それにより生じる熱のカスケード利用である。これをテーマⅠとし、これをさらにサブテーマ①からサブテーマ③に分けた。もう一本の大きな柱は精油や焼却灰などの物質利用で、これをテーマⅡとし、同じくサブテーマ④からサブテーマ⑥の3つに分けた（図1）。

この事業には、「産」として都城木材（株）や清本鉄鋼（株）、日高勝三郎商店など、「学」として宮崎大学と都城高専、「官」として木材利用技術センター、宮崎県畜産試験場、宮崎県工業技術センターなど、多くの機関がこの事業に参画した。

研究推進体制

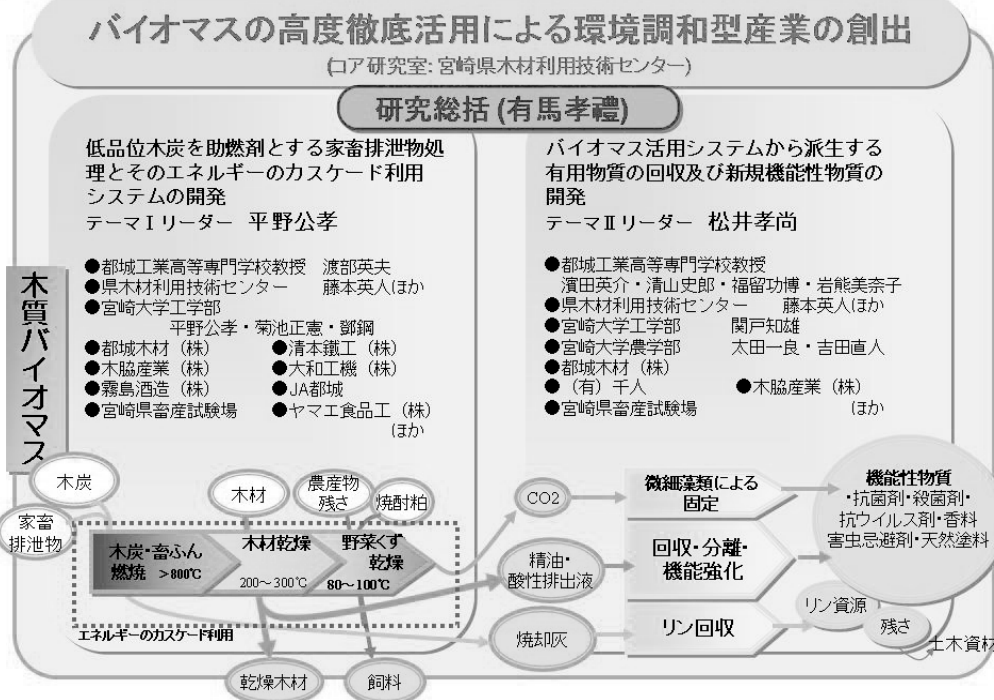


図1 都城盆地エリア産学官連携促進事業体制

3. 主な成果

初年度はテーマ I では、低品質木炭の助燃剤としての熱的特性を把握し、ベンチスケールのロータリーキルン型燃焼炉を導入し、畜糞と低品質木炭を燃焼させた場合の燃焼特性について検討した(図2)。また、木材利用技術センターの実験規模の木材乾燥機に排出蒸気の凝縮器を取り付けて、



図2 ベンチスケールロータリーキルン

精油の回収が開始された(図3)。この乾燥蒸気凝縮装置の設置により、数リットル単位での精油の採取が可能になり、以後の精油関連研究に弾みがついた。

テーマ II ではスギ精油の有効利用と焼却灰からのリンの回収方法の検討が行われた。この検討の中で、スギ精油にはシロアリの摂食



図3 木材乾燥機に併設した凝縮器 (左上のステンレス槽)

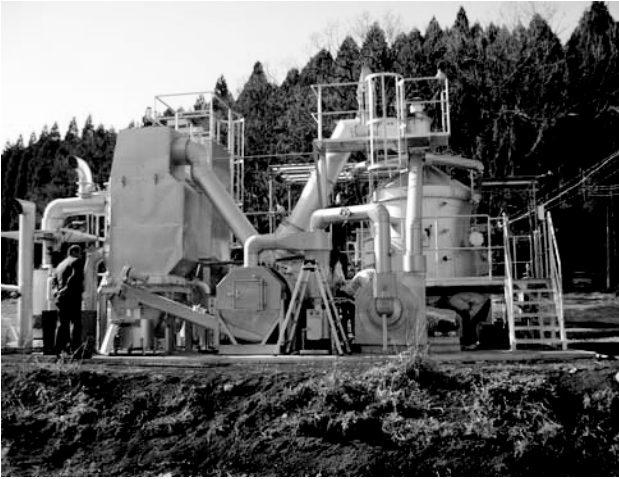


図4 パイロットプラント

阻害効果や、弱いながらも抗菌活性があることが明らかになった。

2年目は大型の固定床燃焼炉を導入して、実大規模での燃焼試験が始まった（図4）。この検討の中で、安定的に燃焼可能な混合比の豚糞・木炭混合燃料体の検討が行われた。

また、テーマⅡのサブテーマ④の検討結果より、スギ精油にはゴキブリの忌避作用やナメクジやカタツムリなどの陸棲軟体動物に対する忌避作用があることが明らかになった（図5）。

3年目は、テーマⅠでは豚糞と低品質木炭の混合燃料（図6、図7）で安定的に自燃する条件を確立した。この燃料体は顆粒状で取り扱いやすく、発熱量も十分であることから、新しいバイオマス燃料としての可能性が示唆された。



図5 スギ精油のゴキブリ忌避効果
左:精油有り 右:精油なし



図6 豚糞と低品質木炭(混合前)

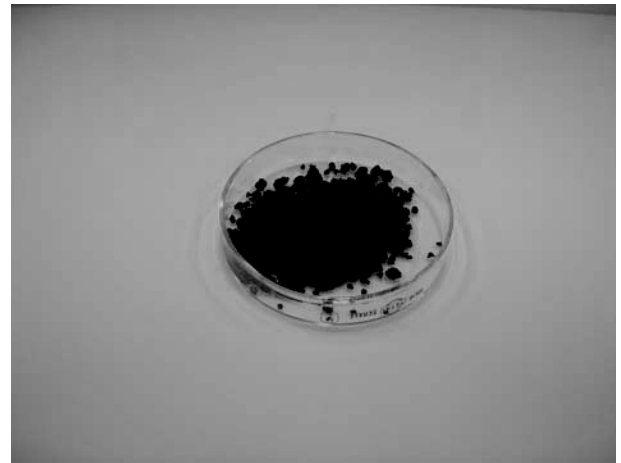


図7 豚糞・低品質木炭混合燃料体

また、この燃料体を燃焼させて発生する熱を使って、蒸気を発生させ、これによる木材乾燥試験が行われた。その結果、高温乾燥条件で使用される木材乾燥機に供給する場合、蒸気は一時的に供給不足となるが、中温乾燥のように比較的蒸気消費量の変動の少ない乾燥機には十分な蒸気を供給できることが明らかになった。

各サブテーマごとに、多くの研究成果が出ている。特許は燃焼方法、精油の利用、リンの回収など多くの分野で合計10件が申請されている。

4. 展開

残念ながら、本事業はまとまった形での新しい事業展開とはならなかった。しかしながら、それぞれのサブテーマの成果は社会的に、あるいは学問的に高い評価を受けているので、下記のようにそれぞれ独自の展開を見せている。

サブテーマ①と②の結果より、豚糞がバイオマス燃料となる可能性が認められたことから、この課題は宮崎県の「平成 19 年度環境リサイクル技術開発支援共同研究委託事業」に引き継がれて、豚糞のバイオマス燃料としての利用研究に引き継がれている。

サブテーマ③と④から得られた成果として、木材乾燥機の熱効率の低さの改善とスギ精油の大量採取の可能性が示唆されたことから、これらについて農林水産省の「平成 19 年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」(3000 万円 × 3 年) に申請し、採択されている。

サブテーマ④はスギ精油の様々な生理活性やその他の用途が本課題の中で明らかにされていることから、それらの用途に適した製品開発を提案し、経済産業省の「平成 19 年度地域資源活用促進事業」(2 年間、計 5000 万円) に採択されている。

サブテーマ⑤は枯渇資源であるリンの豚糞焼却灰からの回収にめどがついたことから、農林水産省の「平成 19 年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」に提案し、採択されている。

サブテーマ⑥は NEDO、平成 19 年度「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」に「遺伝子組み換え *E. coli* および *C. glabrata* の共培養によるアルコール生産に関する研究」(2000 万円 × 2 年) として提案し、採択されている。このように、各サブテーマごとに得られた成果は評価が非常に高いものであり、それぞれ単独のテーマ展開とした。

5. 終わりに

本事業を通して得られた成果は、もちろん個々の成果も重要であるが、それとともに産学官連携が今まで以上に強固になったことである。この機運を活かして今後も、産学官の連携をさらに深めながら、さまざまな取り組みを進めていきたいと考えている。

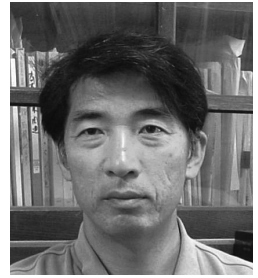
反省点としてあげられるのは、地方自治体、特に市町村、JA などの組合や団体に対する働きかけが十分でなかった点である。林地残材を用いた低品質木炭の製造は、農山村の高齢者に行ってもらえるシステムを作るのが事業開始当初の夢であり、目標であったが、実現していない。また、畜糞の処理に困っている小規模畜産家から豚糞を集めるシステムも構築する必要があったのではないかと考える。廃熱利用についても、焼酎カスの乾燥飼料化などで実用化は可能と考えられたが、今のところ、企業が採用する動きはない。本事業は個々の要素技術については十分な成果をあげたが、システムとして稼働することが無いのは残念である。事業は終了したが、今後も各方面に粘り強く働きかけ、都城盆地エリアの問題点を少しでも改善し、地域産業の活性化につなげたいと考えている。

なお、紙面の都合で研究成果のほんの一部だけ、それも表面的なことしかお伝えできなかったが、本課題の結果について詳細な内容をお知りになりたい方は筆者まで直接ご連絡いただきたい。詳細な報告書や資料等、まだ若干の手持ちがあるので、希望者にはお分けできるかと思う。

(ふじもとひとと：宮崎県木材利用技術センター)

日本最大規模・最新鋭製材工場視察報告

藤本 登留



3月中旬、茨城県鹿島工業地帯にある中国木材株式会社の事業所を視察させていただいた。製材は素人ながら、見聞きして感じたところを報告させていただく。

当社は、その分野では知らぬものはないダントツ日本一の規模を誇る製材メーカーである。ベイマツの梁、桁材等を中心に生産されている。本社（広島県）工場の拡大、設備新鋭化（従来施設の老朽化ではなく最新施設の能力の向上が著しいものと思われる）にともない、新事業所が関東地方に計画されたわけである。この新事業所の位置については次のような理由があるそうである。

まず当社の製品販売量の6割が愛知以東であり、市場に近い拠点となりうること。主な原材料となるアメリカからのベイマツの輸送日数がこれまでの広島県呉市の本社までの輸送に比べ数日短縮できること。外航船ばかりではなく、国内輸送も船を使い流通コストを抑えている当社にとって、港の整備がされていること。工場用の土地が広大で、さらなる拡張にも対応できること。

当社は九州でも大型集成材工場を伊万里事業所として設置している様に、物流コストを抑えるために港湾地域に事業所を各地に設置していることは有名である。さらに今回はアメリカの最新鋭の製材システムを設置し、生産性を上げ、コスト削減を進めている。梁桁材生産が主力であり、日本で歴史がある木造軸組工法の発展に寄与していきたいとのことである。

ベイマツの製材システムを見学させていただいた。とにかく大きいというのは当然であるが、流れがスムーズで動きが速いという印象が残っている。数秒という短時間のうちに丸太の形状を自動認識し製材木取りを決定する。ツインバンドソーの位置の調整の動きも非常に早い。当然、製材速度も速く、日本に

おけるこれまでの速度の比ではない。時間を計ったところ1本あたり5、6秒のスピードで4m材が製材されていた。板材のリッパの板の動きの速度は、見ただけで驚きの声があがったほどである。このような大量の製材をこなす割には人の姿はあまり見られない。製材は大きく分けて大径の材と中径の材で木取り法は分かれる。大径の材はだら挽きで盤を木取り、そこから平角を小割する。中径の材はタイコ材を木取り、その後平角を数枚採る方法である。製材された様々な断面も3m、4mの長さ毎に60以上の種類分けられ、自動的に大型の棚に分けられていく。

次に内航船、外航船の港を視察した。船は見るができなかった。内航船は主に製造された製品を運搬する。外航船の港は輸入丸太をおろすところで、嚴重に塀で囲まれている。当然、勝手に入ることは許されない。1隻あたりの運搬原木量が多くなるため、その敷地も非常に大きい。

さらに、事業所内に巨大なバイオマス発電が設置されていた。もうすぐ稼動するとのことであるが、発電能力は2万1千kW、蒸気発生量は106トン。余剰電力は東京電力に売り、蒸気についても乾燥等で使う以外の余りは周辺工場に売る。原料は自社内の木屑で賄うことが可能で、この工場スケールを活かした計画である。燃料の一部となる仕上げ工場から出る屑を集める直径25mのサイロも発電装置の横では小さく見える程であった。

乾燥施設は既に100立方入りの中温乾燥機が70台並んでいる。自動棧積み機で棧積みされた桁材等製材品は配送レールで所定の乾燥装置まで運ばれ、乾燥装置にそのまま投入される。乾燥でも自動化、省力化が進んでいる。乾燥温度は80℃程度までの乾燥温度とのことである。ベイマツの利用で問題となるヤニについても、乾燥材を見せて頂いたとこ

ろ、乾燥によるヤニ抜きが十分なされていた。

乾燥された材は、仕上げ工程の工場へ運ばれ、含水率を全数調べ、表面仕上げされる。機械でヤング率が測定され、表示もされていた。ただ最終的な品質の仕分けは6人体制で行われていた。このグレード分けのための品質項目は、節、木肌、樹心を含むかどうか、である。また、平角材のネジレ品質を重要視されており、機械で測定されていた。

1シフトで月5万立方の能力を持ち、現状では実際には3万8千立方の処理量である。6月から2シフトの計画で、生産コストに占める償却費も減るが人件費が増えるため、おそらく現状と変わらないコストのようだ。それに合わせ、乾燥施設も増設される。乾燥機も膨大な数である。バイオマス発電施設は別会社となっており、中国木材は木屑燃料を売り、蒸気や電気を買うことになる。乾燥のための現状の蒸気の価格に対し半額以下になるようだ。住宅の質が強く求められる現状ではグリーン材は頭打ちということで、いかに品質の良い乾燥材を低コストで生産するかがよく考えられている。ベイマツ平角では概略乾燥期間2週間で、月2回転の乾燥が行われている。仕上げ加工前に養生もしっかり行われ

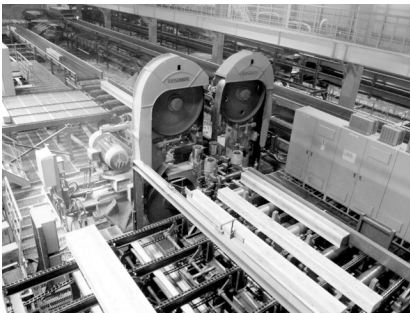
ていた。

原木については、入荷しているアメリカが日本以上に景気が冷え込んでおり、計画伐採されている素材の価格が落ち込んでいるようである。これ以上安くすると、素材生産に支障がでるところまで来ているとのことで、原木価格は非常に安いようである。しかし、石油燃料の高騰で相殺されてしまうとのことであった。それでもベイマツの原木価格はスギの2倍ほどし、今後スギ、ベイマツのハイブリッドビーム、スギのみの集成柱等、スギ材の利用を増やす計画がされていた。

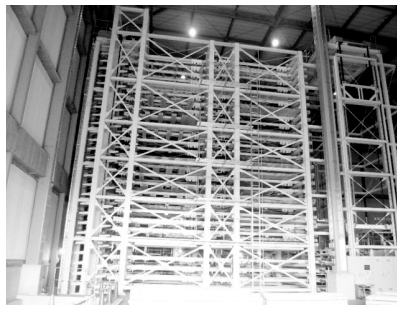
製品の納入先は直接プレカット工場への出荷が増えており、問屋へ卸すのは少なくなっているとのこと。本社や伊万里事業所のように、プレカット工場併設の利点もあるようである。

ある意味、この事業所の視察は、九州の製材には参考にならない程の規模の大きさであり、装置の性能であった。しかし、いろんな考え方は非常に興味深く、勉強になった。快く視察を受け入れて頂いた、中国木材鹿島事業所の皆様に対し、感謝申し上げます。

(ふじもとのぼる 九州大学農学研究院)



アメリカ製の最新の製材機



材種、寸法別に選別される大型保管棚



日本最大規模のバイオマス発電装置



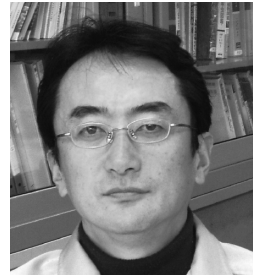
整然と並んだ木材人工乾燥装置



乾燥材の品質検査ラインの一部

ローカルレター

第6回 佐賀発 虹の松原のショウロについて 永守直樹



1. はじめに

第6回のローカルレターを担当することになりました佐賀県林業試験場の永守です。今回は、本県の代表的な観光地であり、日本三大松原の一つにも数えられる「虹の松原」に自生している菌根性の食用キノコ「ショウロ」について書かせていただきます。会員の皆様方の日々の試験研究業務からすると、ちょっと馴染みの薄いキノコかも知れませんが、ショウロも大きなくくりで見れば木材腐朽菌と同じ担子菌の仲間でもありますので、しばしお付き合いをお願いします。

2. 「虹の松原」の紹介

ショウロが自生している虹の松原は、今から約400年前の江戸時代初期に、初代唐津藩主寺澤志摩守廣高が、海風から農地を保護するために、クロマツを植栽したのが始まりとされています。

現在、その大きさは唐津湾の緩やかな弧状の海岸線に沿って、幅400～700m、長さ約5kmに亘っており、三大松原（他は、三保の松原（静岡県）、気比の松原（福井県））の中でも最も広い面積（約230ha）を有しています。



（鏡山展望所より虹の松原を望む）

鏡山の展望所からは、この素晴らしい景色を一望することができますので、お近くにお越しの際は、是非一度お立ち寄り下さい。また、ちょっと足を伸ばせば呼子のイカ刺しを味わうこともできますし、ドライブコースにもお薦めです。

3. 「ショウロ」ってどんなキノコ？

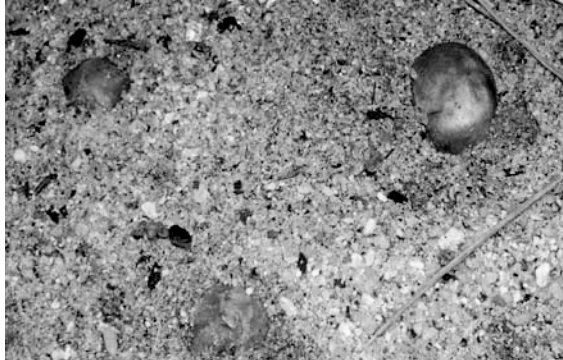
虹の松原の「ショウロ（松露）」と言うと、唐津銘菓の松露饅頭を思い浮かべる方も多いのではないのでしょうか？ 松露饅頭には、ショウロは入っていませんが、名前の通り形状は良く似ています。



（虹の松原で採れたショウロ）

ショウロは、クロマツと共生関係を築いて生活している菌根菌の仲間、落ち葉がたまっていない20年生ぐらいまでの若いクロマツ林を好むと言われています。逆に、落葉が厚く堆積し、腐植層が発達してしまった松林では、ほとんどみかけることができないため、白砂青松のパロメータとも考えられています。虹の松原では、昭和30年代前半頃までは、地元住民により松葉掻きが行われ、燃料等に利用されていたようですが、今では生活様式も変わり、以前のような松葉掻きは行わ

れていないようです。ショウロもかつては松原内で沢山採れていたようですが、今では限られた一部の箇所では発生していないようで、さしずめ「幻のキノコ」と言ったところでしょうか。



(地表に顔を出したショウロ)

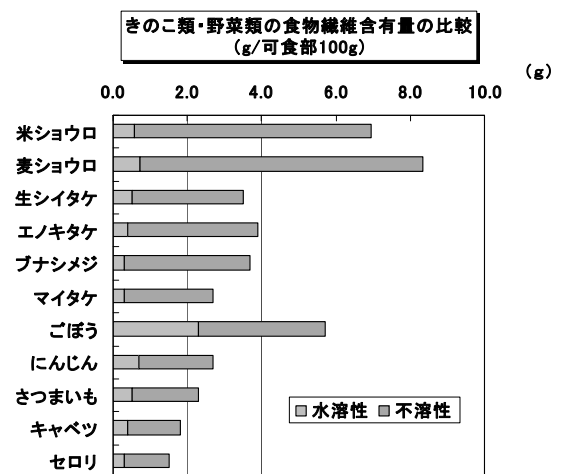
ショウロの発生時期は、秋と春の年2回ですが、当场が松原内に設定している木炭粉を埋設した発生誘導試験地での調査結果によると、年によっていくらか変動はありますが、3月中旬から4月上旬にかけての発生量が最も多く、暦年発生量の6割以上がこの時期に発生していることが分かりました。若いショウロは、弾力があって中身が白いスポンジ状になっておりますが、成熟してくると茶褐色の粘液状になり臭いもきつくなってきます。こうなると食用には適さないようです。ただ、若いショウロには独特の芳香があり、以前お吸い物を頂く機会がありましたが、非常に上品な？香りがして、なかなか乙なものでした。



(ショウロの炊き込み御飯とお吸い物)

女子栄養大学(埼玉県)にお願いして米ショウロ(若い子実体)と麦ショウロ(成熟した子実体)の成分分析をしてもらったとこ

ろ、米ショウロでタンパク質が多く、麦ショウロでは炭水化物が多いという結果でした。五訂食品標準成分表に記載されている生シイタケやエノキタケ等と比べてみると、海岸の砂地に発生するためか、ナトリウムやカリウム、鉄などのミネラル分が多いという特徴も分かりました。また、ショウロには生シイタケやゴボウ等と比較しても、より多くの食物繊維が含まれており、シャリシャリとした独特の歯ごたえはこのためかも知れません。



4. おわりに

当场が松原内に設定している発生誘導試験地では、発生量がピーク時に比べて1割以下に落ち込んでしまったため、枝打ちや木炭粉の再埋設等の環境改善を行い、現在、ショウロの発生回復を試みているところです。今のところ残念ながら、発生回復の兆しは見えていませんが、地温や土壌水分等の基礎データを併せて計測することにより、ショウロの発生環境をより詳しく調査しているところです。ところで、虹の松原では地元のボランティア団体や高校生などが松原の保全活動に取り組まれており、その中でショウロの育成・保護のための松葉掻きやクロマツ苗の植栽等が実施されているところです。当场でもこれらの取り組みを、何らかの形で支援できたらと考えております。

(ながもり なおき：佐賀県林業試験場

現在、伊万里農林事務所)

[編集後記]

木科学情報 14 巻 3 号をお届けします。私の担当最終号となります。表紙を刷新し、コンテンツも情報誌としての色合いを出すため、シリーズ化して読みやすいものを！と努力して参りましたが、この2年間の木科学情報はいかがだったでしょうか？いろいろご意見を伺えれば次の担当者に引き継ぎたいと思います。逃げる訳ではありませんので誤解のないよう宜しくお願いします。

さて、本号では、九大へ赴任されて数年が経つにもかかわらず、木科学情報デビューをされていない近藤哲男教授に総説・主張を執筆いただきました。また、九州支部の実務を2年間担当されてきた藤本登留准教授に執行部便りをお願いしましたところ、こっちの方が面白いからということで、「最新鋭工場視察報告」をいただきました。レビューでは、ちょうど1年前に学位を取得された片桐幸彦氏に研究時代を思い出していただけるよう執筆のお願いをしました。また、産官学連携で精力的にご活躍中の藤本英人氏にプロジェクトの概要を紹介いただきました。さらに、本誌にはあまり登場されてこなかった佐賀県勢を代表して永森直樹氏に松露の話を書いていただきました。是非お読みいただければと思います。

これで私の編集担当は終わりです。これで解放されると前号で言うておりましたが、私の知らない力が働きまして、次年度は会計担当になりました。祝福の言葉は要りません。今年度は、会計担当の北岡卓也准教授の努力により支部財政は「窮地ではないが楽観できない」状態となりました。これを引き継ぐのは少々プレッシャーではありますが、「窮地」にならぬよう努力したいと思っております。

次号から、九大の巽大介准教授が担当されます。九州に縁も所縁もない方なので私とは違ったセンスで本誌を編集されることと思えます。暖かく見守って下さい。

最後になりますが、お忙しい中ご執筆頂いた方々には厚く御礼申し上げます。今後とも木科学情報を宜しくお願いします（松村順司）

[各種問い合わせ先]

●支部全般に関わること（総務：堤 祐司）

E-mail: y-tsutsu@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-4282

●会費、入退会に関わること（会計：松村順司）

E-mail: matumura@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : Fax: 092-642-2980

●木科学情報に関わること（編集：巽 大介）

E-mail: tatsumid@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-2998

●支部ホームページ

<http://rinsan.wood.agr.kyushu-u.ac.jp>

木科学情報 14 巻 3 号

2008 年 4 月 15 日発行

編集人 黒田 健一
発行人 村瀬 安英

発行所 日本木材学会九州支部
〒819-0052
福岡市東区箱崎 6-10-1
九州大学大学院農学研究院
森林資源科学部門内
Fax : 092-642-3078

