

# 木質粉塵の変異原性

伊 東 英 武

## はじめに

木材は化学的にセルロース、リグニン、ヘミセルロースの主成分と少量、多種類の従属成分から構成されます。いわゆる抽出成分と呼ばれる物質の研究は、生産性阻害物質として分析方法<sup>1・2)</sup>、乾燥中に発生する着色、輸送中に起こる好ましくない原木変色の原因追求<sup>3)</sup>など経済的な理由から行われる他に、これら物質による環境汚染<sup>4)</sup>あるいは人の健康阻害の防止、木材の抽出成分と変異原性/発ガン性の関係を明らかにしようとする研究<sup>5・6)</sup>があります。一方、平凡社大百科事典の「癌」の項には「ヒトに対する発癌性が確定した化学物質、化学物質群、工業プロセスおよび職業暴露」という表の中に化学工業、ゴム工業、ニッケル精練などと並んで、家具製造業が含まれています。おそらく粉塵が理由だと思えます。

このような事実は、日常、木材に接する機会が多い者にとって気がかりなことです。これまでの調査から、木材の粉塵を吸入することによって鼻腔の腺ガンの発生が高くなるおそれがありそうだとことはわかっていますが、木材の抽出成分の変異原性は、まだ直接証明されていない段階にあります。しかしこれに対する対策は順次進められている状況にあり、労働安全衛生対策の参考になると思い、文末の文献からドイツの事情をまとめてみました。

## 粉塵放出の規制と発ガン症例

関連する研究論文<sup>5-9)</sup>はその動機に1983年2月28日ドイツ連邦内務大臣公示の大気浄化技術基準

(TA Luft)をあげています。この基準は発ガン性の危険予防の概念を取り入れ、経験的に人に悪性腫瘍の原因になる物質(A1類)、動物実験で明らかな発ガン性を示す物質(A2類)、発ガン性の疑いがある物質(B類)を含みます。健康阻害物質を審査するドイツ学術振興会の評議委員会は15の物質の暴露限度を0.1~5mg/m<sup>3</sup>と決定し、1982年に発ガンの疑いがあるとして、木材の粉塵をB類に、また1985年にはプナとナラの粉塵をA1類に指定しました。

このような動きの発端は、1965年にイングランドで行われた流行病調査の結果、家具工業に主鼻腔および副鼻腔に腺ガンの危険が高いということでした。ドイツ、デンマーク、スウェーデン、フィンランドで実施された調査でも、やはり木材加工業の従業者に鼻のガンの発生が高く、樹種ではカンバ、クリ、クルミ、ハンノキに疑いもたれ、とりわけプナとナラの木粉とガンの関係が繰り返し指摘されました。手工業的工場環境に多く、車大工、家具、パーケット、樽職のような硬材の加工職場がその例にあげられます。もっとも、作業場の粉塵濃度は、20mg/m<sup>3</sup>以上、最高値は500mg/m<sup>3</sup>の場合があり、金属塩類ないし塗料類および染料との複合危険がありえます。まとめると、これまでの流行病調査の結果、プナおよびナラの手工業的家具製造業で、主鼻腔および副鼻腔の腺ガンの発生の危険が高いということです。ドイツにおける患者は、65才以上の男性に発生し、40年という長期の潜伏期間が各職業グループとの関連を不確実にし、現在の作業環境条件と40年前の条件

とは、もはや比較できない状況にあります。鼻のガンの初期は、一般に鼻詰まりと慢性の鼻血が混じる鼻かぜ様の症状を呈するという事です。

### 原因の究明

木材の粉塵による発ガンの原因としては、木材の含有成分、鼻粘膜の機械的刺激、木材の熱分解生成物、菌が生産する物質および接着、着色や防汚処理などの補助材料があげられます。

鼻のガンにかかる引き金あるいは促進原因としての純粹な機械的刺激は除外できません。吸入された木材の粒子が鼻腔の粘膜で営まれる正常な浄化作用の間に、別の機能が発揮される結果として粘膜に病的な変化を引き起こすのではないかと指摘されています。

菌類の発ガン性物質も検討されています。木材に生息する菌類由来の代謝物質は膨大な数になります。60年代の初期から高い毒性をもつ多数の化合物が知られ、マイコトキシンがその一例です。ただし、ひどく汚染された材料が家具の生産に用いられることは少ないことから、原因にはなり難いとされています。

木材の着色剤および木材防腐剤としての金属塩類のような木材加工工業における補助材料もガン誘発物として対象になります。クロムおよびニッケルの塩類、染料並びにラッカーにより鼻のガンの危険が高まるという指摘があります。しかしこれらの物質は、木材加工に特異的な鼻のガンの原因というよりむしろ皮膚ガンに対する危険です。

木材の研究者達に最も関心がもたれているのは木材の抽出成分です。発ガン性の確認の方法は木材から抽出した成分を分離し、変異原性試験を行います。ブナおよびトウヒ<sup>5)</sup>、ナラ<sup>6)</sup>抽出物の発ガン性を追求した研究は次のとおりです。新鮮な材をまず粗く碎き、風乾後粉碎して粒度0.3から2.0mmの部分を使用します。この試料を(1)石油エーテル(40~60℃)、(2)ジエチルエーテル、(3)アセトン/水(9:1)、(4)エタノール/水(8:2)、および(5)水を溶媒として順にソックスレー抽出します。これら溶媒の極性に従い、遊離脂肪

酸、グリセリド、ステリン、ワックスエステル、トリテルペン、脂肪酸、ステリン、遊離糖類、タンニンのモノマーおよびオリゴマー、環状アルコール、加水分解タンニン、低分子多糖類、リグナン、水溶性ヘミセルロース、デンプンなどに分画されます。各抽出物を濃縮後凍結乾燥しガスクロマトグラフィーとマスペクトルで化合物を同定します。

木材の抽出成分中で変異原性/発ガン性のおそれの有無に関して、フェノール性成分を含むアセトン/水抽出物が最も重要な分画と目されます。この変異原性には被験物質の遺伝毒性・ガン原性を目的に、突然変異誘発性を指標とする試験として細菌を用いる復帰突然変異、および染色体異常誘発性を指標とする試験として哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験が含まれます<sup>10)</sup>。復帰突然変異試験は培地にアミノ酸の一種ヒスチジンがないと生育できないサルモネラ菌(*Salmolla typhimurium*, 菌株TA100, TA98など)およびトリプトファンがないと生育できない大腸菌(*Escherichia coli*) (WPuvr)を使用して、物質が生物の遺伝子に作用して化学反応を起したり、分子構造の一部を変化させる性質があると、菌がこれらのアミノ酸がなくても生育し、コロニーを生成する現象を利用して変異原性の有無を判断する方法で、その強さは出現するコロニーの数で判定されます。また化学物質によっては、生体内で代謝活性化されたのちDNAと反応するものがあり、サルモネラ菌などの微生物では、この代謝活性化の作用を欠くものが多く、代謝物の変異原性を調べるためS9mix(ラットなどの哺乳動物の腹腔内にフェノバルビタールなどの薬物を投与して代謝酵素系を誘導した肝ホモジネートの上清分画S9に補助因子を添加したもの)を加えて変異原性の有無を調べます。

変異原性/発ガン性に関して、植物に広く分布するケルセチンにサルモネラ菌でアフロトキシンB1および2-アミノフルオレンよりは低いが発異原性が認められました。ケルセチンの変異原性活性は2,3-位置の二重結合およびフェノール

性水酸基です。2,3-ジヒドロケルセチンは変異原性をもたないが、少なくともケルセチンペントアセテートはラット肝ホモジネートによる代謝活性化後に変異原性を示すと報告されています。またカテキンから派生する縮合型タンニンもあてはまります。ドイツ学術振興会 (DFG) はラットによる動物実験で3,4,5-トリメトキシ桂皮アルデヒドを発ガン性として指定しました。しかしこれは木材に分布しないといわれています。また、木材中に検出されるコニフェリルおよびシナピナルデヒドのような、 $\alpha$ -不飽和アルデヒドが構造の類似性から指定されていますが、これも現在まで変異原性あるいは発ガン性の証拠は認められません。同様にDFGから指摘された熱帯材から見つかる2,6-ジメトキシベンゾキノンも変異原性なしと確認されています。最近ブナの木粉から弱酸性のメタノール抽出物をシリカゲルで分離してTA100に対して弱い変異原性成分を得たとの報告でも成分の同定を欠いているそうです<sup>5)</sup>。

タンニンの変異原性ないし発ガン性についての報告は興味深い一面があります。最初の指摘は1950年にタンニンを長期間ラットに皮下投与して肝臓に腫瘍を観察したことに始まり、類似の実験で縮合型タンニンの皮下投与が肝臓腫瘍の形成と注射個所の肉腫形成の確認が報告されています。一方でタンニンおよびポリフェノールについての新しい研究では、変異原性をもたないというより、むしろ一部に変異原性の抑制効果を示すという報告もあります。エラグタンニンの緩慢な加水分解により生成するエラグ酸がピレンに対して際立つ強い抑制効果を示し、紫外線照射および4-ニトロキノン-1-オキシトにより大腸菌で誘発される変異原性に対して抗変異原性効果をもつ例が紹介されています<sup>6)</sup>。

ブナ、トウヒ<sup>5)</sup>のアセトン/水抽出物の菌株TA98, TA100によるサルモネラ菌試験で変異原性を示すことはなく、ラットの肝臓S9を添加した代謝活性化試験でもアセトン/水抽出物は変異原性がないことを確認しています。ナラ<sup>6)</sup>でも

同様にプレート当たり1200  $\mu\text{g}$ までの濃度で変異原性のないことが確認され、木材抽出物のなかに変異原性の化合物の出現はいまなお低いという結果になっています。

### 粉塵除去の技術水準

木材工業界で前述した大気浄化技術基準の影響を強く受けるのはパーティクルボードです<sup>8)</sup>。パーティクルボードの生産では、木材の粉塵およびガス体の大気汚染物質が多量に発生します。とくにフレークの搬送に圧搾空気が使用されている施設では、粉塵がフレークと空気の分離箇所で発生します。しかし、この場合は機械的なコンベアないしはリング式の搬送システムで粉塵の大部分は防止できます。また最終製品の研削工程のような作業上不可欠な集塵には繊維製のろ過機によって10  $\text{mg}/\text{m}^3$ 以下にすることができます。

問題になるのはフレーク乾燥機における粉塵の分離です。繊維製のろ過装置の使用は排ガスと塵埃に混じる水分と凝縮性成分の存在により阻まれるため、約15年前には簡単な遠心分離式サイクロンが使用され、その効果は現在の集塵技術から見ると低能率のものでした。遅れて高性能サイクロンが導入され高い効果を発揮しました。平行して直接加熱のジェット式乾燥機から間接加熱のトロンメル式接触型乾燥機に転換が進みました。サイクロンとの組み合わせで、ジェット式乾燥機の排気中粉塵濃度は120~170  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、トロンメル式乾燥機と間接加熱では50  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、また湿式ダストスクラバーでも50  $\text{mg}/\text{m}^3$ に抑制できます。この場合は水滴の分離効率が低下するとエアゾルとして放出されるおそれがあり、また高水分のスラッジの処理、洗浄水の中和管理が付随します<sup>9)</sup>。

### おわりに

固形の大気汚染物質として木材の粉塵を取り上げ、その変異原性/発ガン性について経緯を調べてみました。いろいろなガン発生状況の調査と発ガン性物質の探索から、木材の粉塵が関与しているおそれがあり、直接原因かどうかは不明でも予

防的措置として大気汚染の規制を強化した結果、一方では木材成分と変異原性の関係の研究が取り上げられ、他方では集塵装置の性能向上が図られているという経過のように思います。

長期間にわたり高い濃度の木材の微粉を浴びる環境では、粉塵が鼻腔のガンの原因となるおそれが高いといえます。しかし、木材の抽出物中のどの化合物が変異原性あるいは発ガン性と関係があるかについての証拠は現在なお不明確のままで、研究途上にあります。

乾燥した硬材やMDFのような再構成木質材料の加工は、刃先域で高温と高圧を発生します<sup>11)</sup>。ここでは木材に存在する化合物だけではなく、熱変成を受けた、本来木材には存在しなかった物質が生成し、このようなものの関与も考慮しなければなりません。

次には作業環境の浮遊塵の許容濃度の目標はどうかということになります。ドイツの勧告は、1988年以降全樹種について、新規施設で2 mg/m<sup>3</sup>、既存施設で5 mg/m<sup>3</sup>としていますが、この数値は最新の集塵装置でも困難ということですが、現在の集塵装置の性能からみて、粉塵濃度は乾燥して凝縮性の成分を欠く場合はろ過式集塵機で10mg/m<sup>3</sup>を確保できます。しかし水分や揮発分を含む排気では、湿式のダストスクラバーが適し、さらに臭気の低減が必要な場合には帯電ろ過床や高温の排気にはセラミックのろ過装置が検討される必要があるということです<sup>12)</sup>。

ところで、このごろ「環境にやさしい」という言葉をよく聞きます。環境を汚染しない木材燃焼装置<sup>12)</sup>、環境保護への消費者の関心や有機溶媒の有害性から水性塗料への移行<sup>13)</sup>の試み、同様にポリクロロプレン接着剤からトリクロロエタンやブチルケトン溶剤の環境放出を考慮して水性分散型の天然ゴム接着剤の使用<sup>14)</sup>などにその傾向をみるることができます。このことは木材加工の作業場所における人の健康阻害の防止を目的とした局所的な排気による浄化だけではなく、優れた木材製品の生産が環境を汚染しない方法で行われる時代の到来を告げているように思います。

## 参考資料

- 1) Charrier, B., Marques, M., Haluk, J. P. HPLC analysis of gallic and ellagic acids in european oakwood (*Quercus robur* L.) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*). *Holzforschung* 46, 87-89 (1992)
- 2) Fechtal, M. Analyse des extraits tannants des écorces de eucalyptus après hydrolyse acide par la chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (GC-MS). *Holzforschung* 45, 269-273 (1991)
- 3) Haluk, J. P., Schloegle, F. et Metche, M. Chimie de la couleur de bois. Etude comparative des constituants polyphénoliques dans le chêne sain et chêne coloré. *Holzforschung* 45, 437-444 (1991)
- 4) Thakore, A., Collins, G., Smiley, D. W. Toxicity and its behavior on pulp fibres. *Pulp & Paper Canada* 90:7 103-106 (1989)
- 5) Kubel, H., Weißmann, G. Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstaub. Die Extraktstoffe von Bueche und Fichte. *Holz als Roh-und Werkstoff* 46, 215-220 (1988)
- 6) Weißmann, G., Kubel, H., Lange, W. Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstaub. Die Extraktstoffe von Eichenholz (*Quercus robur* L.). *Holzforschung* 43, 75-82 (1989)
- 7) Nimz, H. H. Probleme, Kenntnisse und Hoffnungen zum Thema "Holzstaub". *Holz als Roh und Werkstoff* 46:117-121 (1988)
- 8) Winkler, H. D. Die Novellierung der TA Luft Auswirkungen auf die Spanplattenindustrie. *Holz als Roh-und Werkstoff* 42, 19-24 (1984)
- 9) Marutzky, R. Grenzen der Emissionsminderung bei Holzspänetrocknern unter Berücksichtigung der neuen TA Luft. *Holz als Roh-und Werkstoff* 45, 421-427 (1987)

- 10) 北野 大, 化学品の安全性に関する規制と対策—国内および国外における現状と今後の課題—木材保存 18:12-40 (1992)
- 11) Reid, A. S., Stewart, H. A., Rapp, R.A. High temperature reactions of tungsten carbide-cobalt tool material with MDF. Forest Products Journal 41, 11/12, 12-18 (1991)
- 12) Nussbaumer, T. Anforderungen an umweltfreundliche Holzfeuerungsanlagen. Holz als Roh- und Werkstoff 49, 445—450 (1991)
- 13) Depays, F et Roux, M. Lasures bâtiment en phase aqueuse. CTBA Info. No. 35, 2 - 5 (1991)
- 14) Becué, J. P., et Elbez, G. Évoluer avec les adhésifs contact sans solvant. CTBA Info. No. 37, 2 - 3 (1992)

(林産試験場 主任研究員)

## 内外の話題

### 米国太平洋岸産合板の防腐処理

合板への防腐剤の加圧注入処理は、比較的簡単な工程のようですが、処理の難易は原木の供給地と合板のタイプによって変動します。

この注入性の相違は、特に原木の注入性状に依存しており、ワシントン州東部のダグラスファー単板を含む合板の加圧注入による防腐処理は、事実上不可能とされ、他の地域のダグラスファーおよびトウヒにも類似の問題があります。

このため、米国防腐処理業者協会 (AWPA) 規格に適合する防腐処理を施すことが可能な合板を選別する技術が必要となり、北西太平洋岸で製造される針葉樹合板の注入性の研究を行いました。

試料をオレゴン、ワシントン、アイダホおよびモンタナ州所在の37工場から採取して、樹種の同定と構成単板の厚さを測定、そして2か月間調湿後注入性状試験を行いました。試験は、木口面を樹脂で被覆した試料に、クロム・銅・ひ素系防腐剤 (CCA) と40~52℃に加温したアンモニア性銅ひ酸亜鉛 (ACZA) の1.5%溶液を用いて加圧注入処理を行い、処理前後の秤量から注入量を求めました。処理試料の浸潤度の測定は、対角線に切断した面に銅の指示薬 (クロムアズロールS) を噴霧して、浸潤面積率から求めました。また吸収量 (kg/m<sup>3</sup>) は試料を粉碎後、蛍光X線装置で

分析しました。

これら化学分析による注入量、浸潤度と防腐剤の種類、樹種、原木産地、単板構成の関係を統計的に検定した結果、北西太平洋岸で生産される合板に注入性に幅広い変動が認められました。

ACZAはCCAより一般に薬剤の吸収量および浸潤度が高く、既報と同様に難注入性の樹種に有効であるという結果となりました。

またダグラスファー、ベイツガ、ウェスタンラーチ、モミ類 (信頼できる識別は不能) およびレッドウッドの各単板の注入性も、北米西部産樹種に関する既報の傾向と同様でした。

各工場の在庫から得た合板試料では、地区ごとにすべての樹種をそろえることはできませんでしたが、ダグラスファー合板は各地にあり、西部オレゴン、西部ワシントン、アイダホ産のものは注入量の変動が小さく、モンタナ州のものとは違いがありました。ダグラスファーの平均的な注入量は原木の生産地に依存し、西部オレゴン州産のものは注入性が最も高く、カスケード山脈にかけてのものは変動があり、難注入性のものがあるということがわかりました。以上のことから、AWPAの規格が求める高度の防腐防虫処理には、樹種だけでなく原木の地理的な供給源にも考慮を払う必要があるとのことでした。

(F. P. J. No. 9, 1991)