

# 酸性汚染物質による環境汚染の検証 -環境汚染のタイムカプセル樹木“入皮(いりかわ)”の発見-

佐竹研一 (国立環境研究所)

## 1 はじめに

鉱物資源に恵まれた英国で1750年頃から始まった産業革命は化石燃料大量消費、鉱物資源大量消費の扉を開いた。やがてそれはヨーロッパや北アメリカをはじめとして世界各地に拡大し、当時鎖国を続けていた日本や中国についても(鎖国期間 日本:1639-1858年、中国:1757-1842年)、その開国後、地下資源の大量消費と環境汚染が広がってゆく。現在、欧米、東アジア、南アメリカ等の国々では一方で種々な規制や対策が行われているにもかかわらず今後さらに広い意味での大気汚染問題、環境汚染問題が深刻化する様相を呈している。英国やノルウェーでは依然として有鉛ガソリンが用いられ鉛汚染を引き起こしている。バルカン半島を含む東欧では亜硫酸ガスを含む排煙が山岳地帯に広がる森林に被害を与えている。ロシア西部では重金属や亜硫酸ガスが大ニッケル精錬所から大量に放出され、汚染はフィンランドやノルウェー等の国々に国境を越えて広がっている。南米チリでは銅鉱山から流れ出す重金属が環境を汚染しその対策が問題となっている出すく、を統制いく寺院の屋根だけでなく一般の住環境にも多く用いられ、緑青は深みと安らぎを醸。山岳地帯に囲まれ酸性汚染ガスが滞留しやすい中国重慶近郊では酸性汚染物質の排出は年々増加し、健康被害や森林被害が深刻である。このように酸性汚染物質のもたらす汚染と被害は国によって、地域によって事情は異なるがいずれにせよ大気汚染のモニタリング、生態系影響のモニタリング、汚染の移流拡散や過去から現在に至る汚染の時系列変化を調査することが大きな課題となっている。

本調査では最近私達の研究所で開発された過去の汚染を知るための新しい手法“環境汚染のタイムカプセル樹木入皮”について紹介する。環境汚染を調査する場合、現在の汚染データを得るだけでなく汚染の歴史を判断し現状を評価することが重要であり、過去を検証する技術を開発し発展させることは一つの重要な課題となっているからである。

## 2 環境汚染のタイムカプセル“入皮”の発見

入皮とは樹木の内部に年輪に挟まれて存在している外樹皮のことである。入皮は大気汚染の時系列変化を探る上で重要である。本来樹木の一番外側にある外樹皮に蓄積された汚染物質は大気汚染を直接反映しているからである。

### 2. 1 入皮の形成機構

本来樹木の一番外側にある外樹皮がなぜ樹木の内部に内部に存在するのだろうか。入皮の代表的な形成機構は次のようである。まず、何らかの理由で樹幹の一部が損傷を受け、樹皮がはぎ取られた状態になる。次に樹木の生長に伴い傷の周囲から樹皮と木質部が徐々に傷を被ってくる。最初に受けた傷の大きさにもよるが、数年から数十年経ると樹皮と木質部は傷口を被いつくし、樹皮と樹皮が接触するようになる。この過程を経てやがて樹木に成長を担う形成層が合体し、形成層の外側には連続した樹皮が、そして内側には年輪が形成される。つまり形成層によって毎年形成される年輪の内側に樹木の傷口を包んだ樹木が入皮として保存されるのである。

入皮の形成機構には他に樹幹が合体する過程で生じるものもある。はじめは別々に分かれていた幹が生長に伴い接触、接触部分が徐々に増加し、やがて全体が一つの幹として合体し入皮が形成される場合である。

このほか入皮の形成機構には枝の包含過程で生じるものもある。植林地の樹木や公園などに植栽された樹木は枝打ちされ、その傷口を包み込むように周囲から樹皮と木質部が生長し、そして傷口が完全に包まれた段階で入皮が形成される。このような入皮の形成過程には街路樹等の場合にもごく普通に見かけることができる。

### 2. 2 入皮の重要性

入皮は本来樹木の一番外側にある外樹皮であり、外樹皮として樹木を覆っていた時代の大气汚染物質を蓄

積している。しかも外樹皮は死細胞で構成されているので、いったん入皮となった後はその中の汚染物質の移動・拡散は起こり難い。又、入皮は年輪（時計）に挟まれているので、形成年の特定が容易である。更に入皮を何重にも包む年輪は外界から入皮を完全に遮断し、蓄積汚染物質の拡散や入皮の汚染を防護する。このような理由で入皮は年輪よりも優れた“環境汚染のタイムカプセル”と考えることが出来る。これまで樹木の外樹皮は世界各地で大気汚染のモニタリングに用いられてきた。しかし実は、入皮に変化した外樹皮を分析することで過去の汚染を知ることが出来ることが明らかになったのである。

## 2. 3 環境汚染のタイムカプセル入皮による環境汚染のモニタリング

私達は入皮を含む杉資料を世界遺産の島“屋久島”と、東京からそれほど離れていない“日光”で採取した。これは私達が入皮の重要性を認識するきっかけとなった最初の試料である。

屋久島の杉の場合は、樹齢226年のものに樹齢20年の時に受けた大きな傷跡と、それを包み込むように分布している入皮が残されていた。年輪を数えてみると、樹齢20年の時に受けた傷を樹皮が完全に包み込むためには更に23年を要していた。43年経た後に包み込まれた傷の外側には新たな年輪が年毎に形成され、傷と傷を被う樹皮は外部から完全にとざされた入皮が形成されていたのである。

杉の外樹皮が現在の汚染の状況を反映しているとすれば、この183年前に入皮となった樹皮は183年前の汚染の状況を、すなわち江戸時代（1810年頃）の汚染を反映していたはずである。アジアの産業化以前の現代から見ればバックランドと云ってよい時代の大气汚染レベルを反映する試料が手に入ったのである。

入皮を含む日光の杉は有名な日光杉並木から得られた。台風のため途中から折れた樹齢350-360年の杉の中に入皮が眠っていたのである。屋久島と日光から得られた杉の入皮について、環境汚染元素である鉛に注目して分析した結果は極めて興味深いものであった。

現代の日光杉の外樹皮の鉛濃度が40-150ppmであったのに対し、約200年前の日光杉の鉛の濃度はわずか0.1ppmであった。一方、現代の屋久島に分布する屋久島産の杉の外樹皮の鉛濃度は約1.5ppmで日光の約100分の1の値を示し、更に屋久島の183年前の入皮の鉛濃度は0.2ppmを示していたのである。この結果は屋久島が日光（今市）よりも汚染度が低いことを明確に示すと同時に江戸時代の日光や屋久島の大气がいかに清浄なものであったかを明確に示している。

人類は古くから鉛を用いてきた。しかし、その総使用量は近代のそれに比較すると微々たるものである。多量の鉛が用いられるようになったのは、自動車のガソリンのアンチノック剤として加えられた有機鉛である。これが近代の鉛汚染の主原因である。我が国でアンチノック剤として有機鉛が最初に用いられたのは戦時中のことで、航空機燃料に添加されたようであるが詳細は軍の機密のペールに包まれて明らかでない。ガソリンの添加剤として本格的な使用が始まったのは1949年以降のことである。以後その使用量は増大し1960年代にはピークに達した（西川輝彦私信）。しかしその後、鉛による環境汚染を防止するため製造が中止され1987年には市場から姿を消すに至っている（図3）。しかしすでに述べたように英国やノルウェー等のヨーロッパの国々でも依然として有鉛ガソリンは使用されており世界的に見ると鉛による汚染問題は重要な環境問題の一つである。

## 2. 4 入皮を用いた環境分析の可能性

樹木の入皮に注目した過去の汚染を探る手法は全く新しい方法であり、地球環境汚染のモニタリング手法として今注目されている。しかし環境汚染のタイムカプセル“入皮”に注目した研究は今始まったばかりである。従って、その評価については今後の研究の成果を待たなければならないが、過去を探るための樹木の“入皮”と現在の汚染を明確に反映している樹木の“外樹皮”を用いることで地球環境の汚染のモニタリングを世界各地に広げて行うことが出来ることは確かである。本稿で述べた鉛等の重金属汚染だけでなく、硫黄や窒素やリンや炭素等の化合物、放射性物質、安定同位体等、種々様々な化学物質のモニタリングにも使えそうである。もちろん入皮や外樹皮を用いる環境モニタリング手法はあくまで一つの技術であり、地球生態系に与えた人類活動の影響を正しく把握するためには他の多くの研究手法と組み合わせ、より総合的な解析を行うことが必要である。環境汚染や自然破壊が地球規模の広がりを見せ21世紀の地球生態系についての懸念が広がっている現在、人々の活動が自然環境・地球環境に与えてきた歴史を客観的に考察することが必要となっている。その中で入皮から得られる情報が役立てば幸いである。