

---

**論 文**

---

**足尾銅山付近に生育する樹木中の銅元素の  
含有量と微視的分布**

小 谷 健 二\*  
赤 松 保 行\*\*  
古 川 郁 夫\*\*

**Copper Content and Microdistribution in Trees  
Growing in the Vicinity of Asio Copper Mine**

Kenji KOTANI\*  
Yasuyuki AKAMATSU\*\*  
Ikuo FURUKAWA\*\*

**Summary**

An investigation was carried out on the present condition of trees in the Asio area, an area where people are anxious about environmental pollution due to copper. The copper content and microdistribution in trees growing in the vicinity of the Asio copper mine were determined by inductively coupled plasma (ICP) emission spectrometry and wavelength dispersive X-ray analysis (WDXA). It was found that trees in the Asio area had a high copper content in the bark (bast fibers, phloem ray cells) and sapwood (tracheids, ray cells, middle lamellae).

**I 緒 言**

樹木は土壌、大気と密接な関係をもち、また寿命が長く移動性がないため、その生育場所の過去から現在に至る環境変化を記録している可能性がある。例えば、大気汚染と樹木に関する研究は多く、R. Hantemirov は銅製錬所付近の大気汚染に関してヨーロッパアカマツの樹幹内に銅が濃縮することを報告している<sup>4)</sup>。

栃木県上都賀郡足尾町では銅山が1610年から存在する。その後、明治政府の直轄銅山として開

---

\* 鳥取大学大学院 農学研究科 農林環境科学専攻

\*\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

発されたが、1877年に古河鉱業に払い下げられた後は、古河鉱業足尾銅山として数多くの新鉱脈、大富鉱を発見し、日本最大の銅山となった。しかし、この頃から多くの鉱毒事件が足尾銅山の下流域で起こり、足尾町では銅による水質汚染、土壌汚染などの自然環境汚染が問題視されてきた。現在では、荒廃山地の緑化、銅製錬所の排水規制などを経て、自然環境の回復が進められている<sup>5)</sup>。

本研究は、足尾銅山付近に生育した樹木について樹幹内および生育土壌中の銅含有量と樹幹内での銅元素の微視的分布を調べ、対照地区のものと比較することにより、これらの樹木の銅汚染の状況を把握することを目的とした。

## II 材料と方法

供試材は、栃木県上都賀郡足尾町（以下足尾地区）の銅製錬所付近に生育していたヤシャブシ（7年生、1993年4月伐採）と渡良瀬川の川沿いに生育していたスギ（19年生、1993年4月伐採）を用いた。対照地区の樹木として、鳥取市布勢のヤシャブシ（4年生、1994年9月伐採）と鳥取大学蒜山演習林のスギ（20年生、1994年5月伐採）を用いた。供試土壌は両地区のヤシャブシ生育地の表土を用いた。

樹幹内及び土壌中の銅含有量は次のようにして測定した。スギは心材部、移行帯部、辺材部、樹皮部から、またヤシャブシは小径であり心材部と辺材部の区別が不明であったので、木部と樹皮部から分析用の小片を切り出した。各小片はブレンダーで木粉とし、105℃で乾燥した。この木粉約0.2gをテフロンピーカーに精秤した後、濃硝酸を4.0ml加え、ステンレス製の加圧分解容器を用いて、160℃で8時間分解した。十分放冷した後、蒸留水で50mlに希釈したものを分析用試料とした。

土壌については、土壌汚染防止法に銅の土壌汚染検定方法として採用されている0.1N塩酸浸出法で行った<sup>2)</sup>。土壌試料を室内で風乾し、磁製乳鉢で細粒とした後、非金属製（サラン製2mmメッシュ）のふるいにかけ、風乾細土とした。この風乾細土5.0gに0.1N塩酸を25ml加え、30℃の恒温振とう機で1時間振とうした後、遠心分離し、上ずみ液をろ過し、蒸留水で100mlに希釈したものを分析用試料とした。

各分析用試料は誘導結合プラズマ（ICP）発光分析装置（島津製作所製ICPS-5000）を用いて分析した。分析には3段階の銅標準溶液（0.0, 0.5, 1.0ppm）で作成した検量線を用いて、各試料中の銅含有量を測定した。

スギ樹幹内における銅元素の微視的分布は次のように調べた。木部（心材部、移行帯部、辺材部）、樹皮部（内樹皮部）から小片（5.0（T）×5.0（R）×50（L）mm）を切り出し、厚さ30μmの木口面切片をマイクロトームで作製した。切片を70℃で乾燥後、アルミニウム試料台にカーボン粘着シートで固定し、イオンスパッタ装置（エイコーエンジニアリング製VX-10）で白金を蒸着したものを観察用試料とした。

各試料の木口面を電子線で走査し、試料中から放出される銅元素の特性X線を波長分散型X線分析（WDXA）装置（日立製作所製X-650）で検出し、線分析した。各木材構成要素（仮道管、

放射柔細胞，師細胞，韌皮繊維）及び細胞間層を分析の対照とした。

### Ⅲ 結果と考察

#### 1 樹幹内及び土壤中の銅含有量

表1に両地区の土壤中の銅含有量を示した。土壤中の銅については，土壤汚染防止法により「0.1N塩酸で可溶性の銅が125ppm以上存在すると汚染土壌として扱う」と定められている。足尾地区の土壤中の銅含有量は6.8ppmと土壤汚染防止法で定められている基準値よりかなり低い値となったが，対照地区の土壤中の銅含有量と比較すると約4倍も多く含まれていた。

表1 土壤の銅含有量 (ppm)

鳥取	足尾
1.8	6.8

図1に両地区のスギとヤシャブシの各部位別銅含有量を示した。足尾地区のスギは対照地区のものと比較するとすべての部位で銅含有量が高く，特に辺材部と樹皮部で銅が20～30ppm多く含まれていた。さらに，心材部から樹皮部にかけて銅濃度が増加する傾向が観察された。足尾地区のヤシャブシでも対照地区のものより樹皮部で20ppm程銅含有量が高く，足尾地区のスギと同様に樹皮部内で銅濃縮の可能性があると推定された。正常な樹木の木部の銅含有量は，R.Hantemirov<sup>4)</sup>がヨーロッパアカマツで，種田ら<sup>6)</sup>がスギ，ヒノキアスナロ，ハリギリなどで約0.5～10ppmと報告し，正常な樹木の樹皮部の銅含有量はD.Barnesら<sup>1)</sup>がノルウェートウヒで約5ppmと報告している。これらの報告値はいずれも足尾地区のスギ，ヤシャブシより低く，足尾地区の樹木には，現在でもかなり高濃度の銅が含まれており，生育への影響があると思われる。さらに，樹皮は重金属（銅，カドミウム，クロム）に対して吸着性がすぐれていることが，城代ら<sup>3)</sup>によって示されており，足尾地区のスギ，ヤシャブシ樹皮部においても同様の傾向が認められた。その原因についてはさらに検討する必要がある。

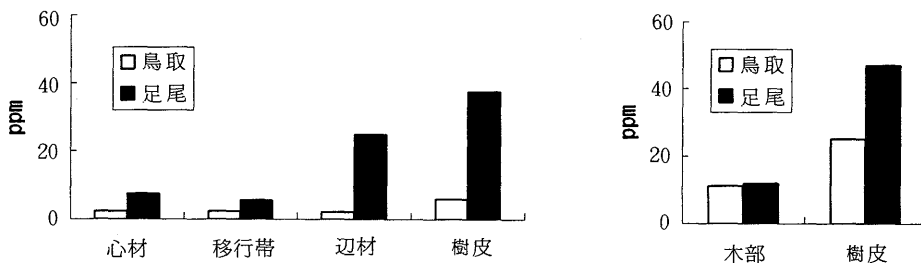


図1 スギ (左) 及びヤシャブシ (右) の各部位別銅含有量

## 2 スギ樹幹内における銅元素の分布

Plate 1 に各木材構成要素及び細胞間層における線分析の結果を示した。線分析は各木材構成要素、細胞間層の写真に引かれた線上で行われ、分析結果は写真下部に曲線として表される。この曲線のピークの高さは銅含有量に比例して高くなる。

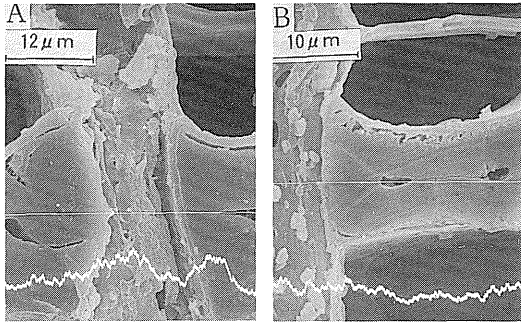


写真 1 韌皮繊維壁

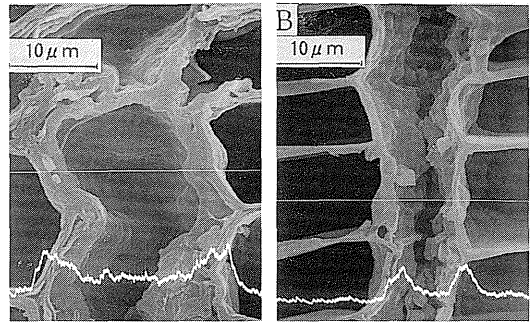


写真 3 師細胞—放射柔細胞壁

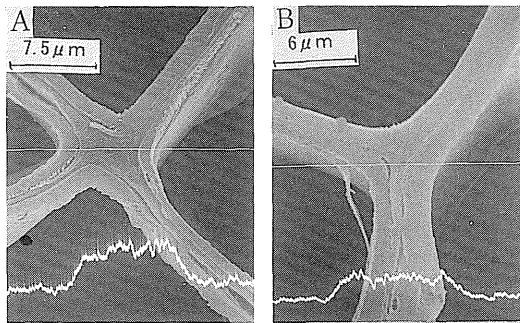


写真 2 細胞間層 (辺材部)

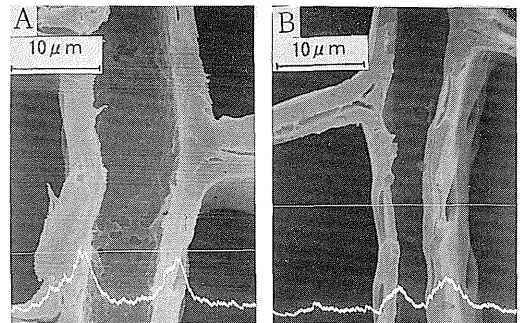


写真 4 仮道管—放射柔細胞壁 (辺材部)

Plate 1. 足尾地区のスギと対照地区のスギの各構成要素別線分析

A. 足尾地区 B. 対照地区

足尾地区のスギには樹皮部の韌皮繊維壁 (写真 1) 及び辺材部の仮道管壁と細胞間層 (写真 2), に銅元素が対照地区のものより多く分布していた。また, 放射柔細胞に接する壁中には, 木部内と樹皮部内のいずれにおいても銅元素が多く存在していた。この傾向は対照地区のものにおいても同様であった (写真 3, 4)。このような分布の特徴から, 銅は根から吸収された後, 辺材部の仮道管を通して樹幹内を上昇しながら, 放射組織を通して形成層に運ばれ, ここで壁形成に利用された後, 余分な銅は樹皮部側へ移動するものと推定される。そして, 樹皮部に蓄積された銅は, リターとして再び土壌に戻るであろう。しかし, 樹皮部の師細胞壁や心材部, 移行帯部の構成要素においては銅元素の存在がわずかに認められたが, 両地区における差は認められなかった。

## IV 結 論

足尾地区では現在でも土壌中に銅が多く含まれており、このような土壌で生育した樹木中の銅含有量は、対照地区と比較してかなり高かった。特に樹皮部には銅が局在し、樹体内における銅濃縮の可能性がある。足尾地区のスギでは樹皮部の韌皮繊維壁、放射柔細胞壁に、辺材部の仮道管壁、放射柔細胞壁、細胞間層に銅元素が対照地区のものより多く分布していた。現在でも足尾地区では銅による環境汚染が懸念される。

## 文 献

- 1) D.Barnes, M.A.Hamadah, J.M.Ottaway : The lead, copper and zinc content of tree rings and bark a measurement of local metallic pollution, *The Science of the Total Environment*, 5, pp.63~67 (1976)
- 2) 土壌標準分析・測定法委員会編 : 土壌標準分析・測定法, 博友社, pp.196~197, 203~205 (1986)
- 3) 城代進, 往西弘次, 上原徹, 後藤輝男 : 樹皮による重金属の吸着に関する研究 第1報 各種樹皮の吸着性について, 島根大学農学部研究報告, 12, pp.102~108 (1978)
- 4) R.M.Hantemirov : Possibility to use chemical elements in tree rings of Scots pine for the air pollution reconstruction, *LUNDQUA REPORT*, Vol. 34, pp.142~145 (1992)
- 5) 渋谷政夫編 : 土壌汚染の機構と解析, 産業図書, pp. 1~15 (1979)
- 6) 種田健造, 太田路一, 長島征哉 : 数種の金属元素の樹幹内分布, *木材学会誌*, 32 (10), pp. 833~841 (1986)