

II-291

酸性雨による森林の衰退と土砂流出

名古屋営林支局 正会員 田中秀成
岐阜大学工学部 正会員 田中祐一朗
岐阜大学工学部 正会員 水上清栄

1. はしがき

現在、人間活動による環境破壊、環境汚染は地球規模で進行している。この環境問題の発生源、進行状況、被害の様子などのメカニズムを理解することは、その対策を講じる上でも非常に重要である。本研究は、特に足尾銅山の鉱毒による森林被害を取り上げ検討するものである。

2. 酸性雨による森林への影響

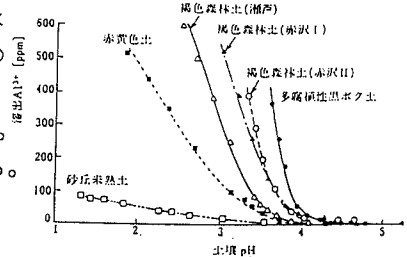
植物に対する酸性雨の影響では、その直接的な影響と、酸性雨が土壌を酸性化して間接的に植物に影響を与える場合とが考えられる。

しかし、植物に対する酸性雨の直接的影響は、人工酸性雨の実験などより、一般に、その影響は顕著には見られない。したがって、酸性雨による植生への被害は酸性物質による土壌汚染が主なものであるといえる。

土壌が持つカルシウムなどの酸性雨中和能力を上回る酸性雨による土壌を通じての間接的な影響が発生する過程は、次のようなものである。

1. 土壌のCa, K, 等の塩類が土壌より溶出し土壌の肥沃度が低下する。
2. 土壌微生物の活動停滞により有機物分解が遅れ物質循環が乱れる。
3. 有害なAlなど金属の溶出で根が傷つき養分吸収能力が低下する。

土壌pHと溶出Alイオン濃度の関係は図-1¹⁾大略に示す。

図-1 土壌のpHと溶出Al³⁺

酸性降下物による森林、湖沼、建造物などへの被害は、北半球中

高緯度に存在する先進諸国で顕在化しており、東アジア地域、熱帯雨林地方への影響も始めると思われる。日本においても、東京の上野公園にある西郷隆盛像や、鎌倉の大仏像、倉敷の彫刻像など、全国各地に存在する銅像の被害は著しい。それらを防止するための対策として、酸性降下物の原因となるSO₂、NO₂の大気中への放出を制御することが必要である。

3. 足尾における森林の衰退

足尾において煙害は、銅の精練が始められるとともに発生した。煙害が広く認識されるようになったのは銅の生産量が著しくのびた1880年代頃からと考えられるが、潜在的にはそれより以前から発生していたものと考えられる。足尾銅山の主要鉱である黄銅鉱は、精練される過程で大量の亜硫酸ガスを発生し、足尾山地の植生に影響を与え続けた。また、足尾山地は特有の古成層や花崗岩を主体としたもろい地質であり、これに加えて、荒い気象条件、特に夏の集中豪雨、冬の凍上、寒風害などで禿げ山化した山地の表土は流失し、基岩が露出して荒廃が一段と進んだ。

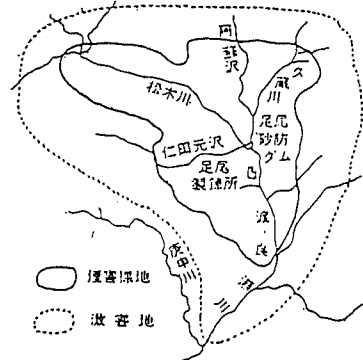


図-2 足尾流域略図

4. 土砂流出量の計算

現在、足尾の山林では、先の銅山開発の折りに衰退した緑を回復するために様々な緑化工事がなされており、緑化が成功している区域もある。しかし、今回松木渓谷を中心に行った現地調査では、確認された植物はごくわずかであるため、この区域の土砂の流出には植生の影響は微少であると思われる。このため、実状の土砂流出量の算定は、樹根の斜面安定効果を無視できるものとする。足尾ダムに流れ込む主要な河川の流

域の地形、流域面積を調べ、1時間ごとの年間降水量のデータを基に足尾ダムに流れ込む土砂の流出量を算定した。

降雨が継続し、基面状の地下水深が増大して行くに従い、やがて次式のようなクーロンの条件を満たす状態が発生する。

$$\tau \geq C + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ ：基面に作用するせん断力、 C ：土の粘着力、 σ ：基面に作用する有効応力、 ϕ ：土の内部摩擦角である。崩壊発生条件式は次のように与えられる。

$$rR \geq \frac{2k \tan \theta}{L \cos \theta} \beta^2 \quad (2)$$

$$\beta = N \frac{C \sec \theta - D \gamma (\tan \theta - \tan \phi)}{(\gamma t - \gamma) \tan \theta + (\gamma - \gamma') \tan \phi} \quad (3)$$

ここに、 θ ：斜面傾斜角、 D ：風化土層の平均厚さ、 N ：土の空隙率、 k ：土の透水係数、 γ_t ：飽和土の単位堆積重量、 γ ：乾燥土の単位堆積重量、 γ' ：土の水中単位重量、 L ：斜面長、 r ：降雨強度、 R ：総降雨量である。

また、田中²⁾は林地における崩壊では、樹根の斜面安定効果を表す係数 C_p を用い、土の粘着応力 C' は $(1 + C_p)$ 倍に増加することを示した。そこで、植林の斜面に与える影響を考察する際には、そこに生息する植物を仮定し樹木の樹根の状態から、植物係数 C_p を用いて土砂流出量を算定し資料の数値、先の土砂流出量と比較、検討する。

(2)式を L について書き直すと、

$$L \geq \frac{2k \tan \theta \sec \theta}{rR} \beta^2 \quad (4)$$

となり、降雨量と土の条件のみによって決まる(4)式の右辺以上の長さを持つ斜面において崩壊は発生することになる。山地流域での斜面長は対数正規分布をなすという事実を用い、図-3に示すように、この分布の超過確率 $W(L)$ が崩壊発生確率 $P(L)$ を与えることになるとしている。

この $P(L)$ を用いると、流域面積を A として1年間の時間ごとの降雨強度よりその時点での流出量を算定し、それを合計して崩壊土砂量 V をつぎのように求めた。

$$V = \int DAP(L)dt \quad (5)$$

なお、使用した年間降雨（ハイレートグラフ）は平成3年のものである。

5. むすび

渡良瀬川流域水害実態調査によると、この流域では年平均約100万 m^3 の土砂が流出しているとあるが、実際の堆積土砂は砂防ダムから流出する分も見積もとこれより少し多いことが予測される。今回の計算では下記に示すように流出土砂量は年間約120万 m^3 と算定された。また、過去のこの流域はまだ風化土層が厚く、斜面も裸地ではなかったと思われる。当時の流出量は、流域がクロマツに覆われていたときのものを想定して計算した結果、87万 m^3 なる値となる。

参考文献

- 1) 大羽裕：文部省重点領域研究「人間環境系」研究報告集 G028-N 11-01, pp.14-25 (1990)
- 2) 田中祐一郎：根系の斜面安定効果に関する一考察・岐阜大学工学部研究報告 第40号 pp.1-7 (1990)

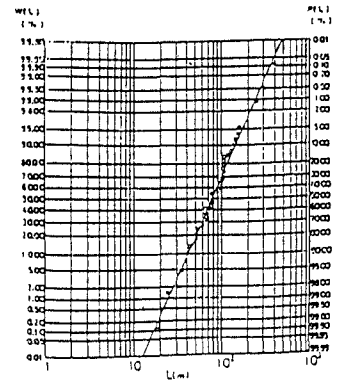


図-3 斜面長の分布

崩壊土砂量計算	裸地	植生有り
透水係数 (cm/sec)	$k = 0.021472$	
土の粘着力 (g/cm ²)	$C = 30.566$	
土の空隙率	$n = 0.33584$	
崩壊土層厚 (cm)	$D = 57.238$	
土の乾燥単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma = 1.1742$	
土の飽和単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma_t = 1.7412$	
土の水中単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma' = 0.7412$	
斜面傾斜角 (度)	$\theta = 36.000$	
せん断抵抗角 (度)	$\phi = 30.000$	
流域面積 (km ²)	$A = 54.16$	
裸地崩壊土砂量 (m ³)	$V = 1230000$	$V = 871000$

表-1 流出土砂の計算結果