

酸性雨と森林

山田健四

近年になって環境に関心をもつ人が多くなり、新聞にも毎日のように環境に関する話題が掲載されるようになりました。酸性雨についても様々な面から新聞、雑誌に取り上げられ、今では酸性雨という言葉を知らない人はいないといってもよいでしょう。酸性雨と聞けば誰もが枯れ果てた森林の様子を思い浮べるほど、酸性雨が森を枯らすというイメージは広く定着しています。しかし、酸性雨がどのように木々にダメージを与えるのか、本当に森は枯れていくのかといったことが、実はまだ十分に解明されてはいないのです。

ここでは酸性雨が森林に与える影響と、北海道における現状について紹介します。

酸性雨とは？

純粋な水は中性で、pH という酸酸性度を表わす尺度では 7.0 という値を示します。しかし放っておくと、空気中の二酸化炭素が水の中に溶け込むにつれて水は酸性になり、pH5.6 で平衡に達します。雨がこの値よりもっと酸性に、すなわち pH5.6 より低い値になると、雨の中に他の酸性物質が溶け込んでいるといえるので、日本ではこれを酸性雨と定義しています。しかしアメリカなどでは、自然状態で空気中にある酸性物質（例えば火山ガスなど）を考慮に入れ、pH5.0 以下の雨を酸性雨と呼んでいる場合もあります。酸性雨は図 - 1 のような経路をたどります。大気に含まれる酸性物質のうち人間の活動に由来するものは、主に化石燃料を燃やす際に発生する硫黄酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x) のガスです。これらの気体が紫外線 (UV) などの作用を受けると、化学反応によって硫酸や硝酸となり、雨や霧を酸性にするのです。これらの酸性物質は雨の中に溶け込んで落ちてくるほかに、空气中に浮遊する細かい粒子 (エアロゾル) や酸性ガスの状態で晴れた日にも地面や樹木などに付着します。これらを、酸性雨や酸性霧などの湿性降水物と区別して、乾性降水物と呼びます。

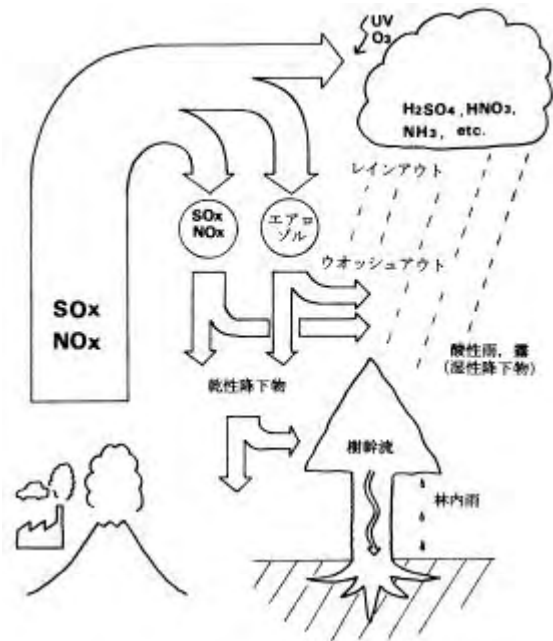


図 - 1 酸性雨のたどる道すじ

酸性雨の森林に与える影響

酸性雨が森林に影響を与える経路は、大きく次の3つに分けることができます。

1) 樹木に接触することによって直接害を及ぼす

酸性雨の直接的な影響は、主に実験的に調べられています。人工的に調整した酸性の水を樹木や農作物などにかける実験で、葉に褐斑などの可視被害がみられるのは、植物種によっても異なりますが pH3.5 以下程度といわれています。我々がトドマツとアカエゾマツに人工酸性雨をかけた実験では、pH2.0 や pH2.5 の処理では両樹種とも葉先が褐変する可視被害がみられましたが、pH3.0 の処理では、トドマツでわずかに被害がみられた程度でアカエゾマツでは被害がみられませんでした。酸性雨処理の際には葉先にしずくが溜る様子が観察され、このしずくが蒸発する際に酸が濃縮されて葉を壊死させると推測されました。

このような目にみえる被害以外にも、電子顕微鏡を使った研究により、酸性雨は葉の表面にあるワックス層を侵食することが明らかにされています。表面ワックスが侵食されると、気孔の目詰まりや、気孔を通さないで水分を蒸散するクチクラ蒸散の増加、無機イオン溶脱量の増加など、樹木に生理的な変化を引き起こし、植物の水分や栄養のバランスが崩れてしまいます。例えば、スギの苗木に実験的に人工酸性雨をかけると、無機栄養素の陽イオンが樹体から溶け出し、幹を伝って流れる雨（樹幹流）の中に含まれる量が多くなることが確認されました（図 - 2）。

これらの影響が積み重なって、最終的には植物の成長量の減少として表れます（図 - 3）。このことは農作物をはじめ様々な植物について確認されています。このような成長量の減少がみられるのは pH3.0 ~ 3.4 以下といわれており、現実の雨のレベルでは影響は少ないと考えられます。しかし霧の場合は、少ない水分が長時間滞留する間に多くの酸性物質を取り込み、雨よりも強い酸性を示すため、直接的な被害が出やすいと心配されています。

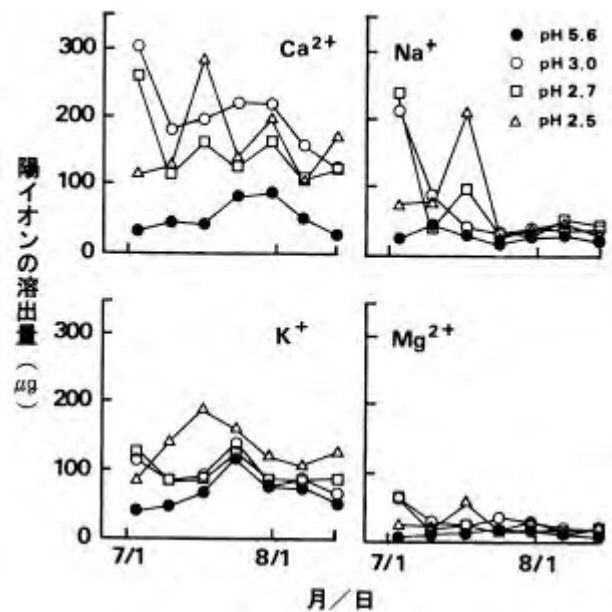


図 - 2 スギ樹幹中の陽イオン溶出量 (山田ほか 1992)

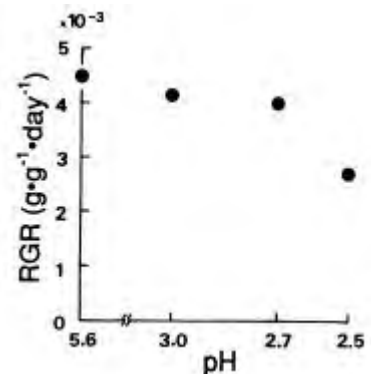


図 - 3 酸性雨処理後のスギの相対成長率 (RGR) (山田ほか 1992)

2) 土壌を化学的に変化させることによって、根系を通じて樹木に影響を与える

森林に降る雨はまず林冠に補足され、そこで葉や幹についている様々な成分を溶かし込んだ後、しずくとなって落ちたり(林内雨)幹を伝わって流れたり(樹幹流)して土壌に達します。樹木はその莫大な表面積で空気中の様々な物質を吸着するフィルターの役目を果たしていますから、樹木に触れることによって雨水の成分は大きく変化します。この結果、林内の特に木の根元近くには多量の物質が流れ込み、土壌を変化させます。例えば硝酸やアンモニアなどの窒素分が多量に付加されると、窒素だけが過剰になって栄養のバランスが崩れます。また酸が多量に供給されれば土壌が酸性化し、その結果植物に有害なアルミニウムが土壌から溶け出して根系の働きを阻害します。これらの影響はヨーロッパの森林衰退の大きな原因といわれています。しかし欧米で衰退がみられた森林の土壌は土層が薄く、酸や塩基に対する緩衝能も低い土壌です。日本で酸性雨が原因とみられる森林被害がそれほど顕著でないのは、欧米に比べて土層が厚く、緩衝能の高い土壌が広く分布しているためとも考えられています。

日本の森林土壌が酸性雨を中和する能力については、土壌を詰めたガラス管に酸性液を通す実験や数学的なシミュレーションモデルから求められています。1つの予測として、緩衝能の低い地域で現状の雨が数10年から50年降り続くと、土壌中のアルミニウムが溶出して植物に影響を与えるというものがあります。しかし、土壌の性質やそこに降る雨の成分は地域によって大きく異なるので、正確な予測は困難です。

3) 虫や微生物など森林生態系全体を変化させることによって、樹木にも影響を与える

生態系全体に対する影響は、様々な要因が複雑に絡み合っているため、調査が大変な分野です。しかし小さな生物ほど環境の変化には敏感なので、酸性雨の影響も大きいと考えられます。これまでに土壌微生物の分野などでいくつかの研究がなされています。例えば菌類の中には、植物の根端に共生的に結びついて植物の成長を助けている、菌根菌と呼ばれる仲間がいます。酸性雨によって窒素過剰になった土壌では、この菌根菌の活力が低下するという報告があります。北海道の主要造林樹種の生育にも菌根菌が大きく関与しているといわれ、特に少しの成長差が生死にかかわる種苗段階での影響が懸念されます。しかしこの分野は研究者が少なく、情報は非常に少ないのが現状です。

森林には、このような様々な経路による酸性雨の影響のほかに、オゾンや気候変動、水分ストレス、病虫害などの様々な環境ストレスが複雑に絡み合って作用しています。欧米でみられた森林衰退現象も、酸性雨単独では説明できないという見方が、現在では有力になっています。

酸性雨は北海道にも降っている！

全国の雨水の平均pH値は4.7弱といわれていますが、北海道ではどんな雨が降っているのでしょうか。北海道公害防止研究所(現 北海道環境科学研究センター)の報告によれば、1982~1987年の6年間の調査による雨のpHの平均値は札幌で4.6、旭川で4.7と、全国並みの酸性雨が降っています。

他の地域ではやや高めの pH 値で、北海道全体では全国平均よりきれいな雨が降っているといえるでしょう（図 - 4）。それでも全体の降雨過 81% が pH5.6 以下の酸性雨で、安心できる状況とまではいえません。

当場の構内で 1990~1991 年の 1 年間で調べたデータでも、冬期間を含めた平均値は 4.8 で美唄でも札幌に近い酸性雨が降っていることが分かりました。



図 - 4 北海道内の雨の平均 pH (野口ほか 1988)

北海道の森林は大丈夫？

北海道の森林地帯に降っている雨は、全国レベルから比べれば清浄な雨といえます。したがって酸性雨が樹体に接触することによる直接被害は、現状では起きにくいといえるでしょう。土壌に関しても、もともと弱酸性の土ですから植生も酸性土壌に対応していると考えられ、それほど急激な影響はないだろうと予測されています。しかし、より長期的なスパンでの影響や酸性霧については、まだ十分に解明されていません。また微生物などへの影響もほとんど分かっていません。酸性雨は確実に森林に対して影響を及ぼしていると考えられますが、その影響を過大でも過小でもなく正確に評価し、北海道の貴重な森林を健全なまま未来に受け継いでいくために、今後も注意深く見守っていくことが大切です。

(森林立地科)