

酸性雨研究の副産物 《土壤保全から みたスギ～広葉樹混交林のすすめ》

森林総合研究所・東北支所

土壤研究室長 佐々朋幸

現代の環境問題とは

これまで長くの間、人々とりわけ日本人は空気と水には金が掛からない自然の恵みとばかり考えてきました。現代の環境問題とはまさに、地球全体を取り巻いて世界中の人々に共通な財産である空気（大気）や水が”危ない”ということな、のです。もち論、こうした大気や水にも、良きにつけ、悪きにつけ、自然そのものの性質が備わっています。しかし、それ自身、自然の一部であった筈の人間があまりに身勝手な活動をし始めたため、本来の大気や水の性質まで変えつつあるというのが目下地球上で起こっている現実の姿なのです。

人間活動のうち環境悪化をもたらす原因の大きなものは、もともと地球を作りあげていた鉱物や生物を燃料やゴミとして燃やしてしまっていることです。それと言うのも、鉱物や生物が燃やされると、後に炭酸ガス（CO₂）、硫黄や窒素の混ざった物資（これらを硫黄酸化物、窒素酸化物と呼びます）等が大気中へ放出されるからです。そうしたものの以外、例えばメタンガスやアンモニアガス等は天然にも人為的にも、またフロンガスは人為的に、というようにいろいろなガス類が地球上のあちらこちらで放出されています。

さて、このように様々な物資が連日連夜、地球の至る所で大気中へ放たれているわけですが、このうち炭酸ガス、メタンガスそれにフロンガスは地球の温暖化をもたらす原因と言われ、硫黄酸化物や窒素酸化物は酸性雨の原因とされているのです。ここでお話ししようとしている酸性雨とは、それら硫黄酸化物が大気中の水蒸気に溶け込んでできる硫酸や硝酸の混ざった雨を意味しているのです。

何故、酸性雨が森林を枯らすと言われるのか

森林どころか、我々人間であっても、濃硫酸や濃硝酸を直に浴びれば重大事になることはここで改めて言うまでもないでしょう。そうした危険な薬品が次から次へと空から降ってたら、それこそ一大事です。その結果、大多数の動植物は地球上から消滅してしまうでしょう。ですから、ここで言う酸性雨”酸”とは、

あくまでごく微量な硫酸や硝酸が含まれている状態をさしているのです。だからと言って、酸性雨に長期間さらされて、様々な悪影響が生じない筈はありません。

長期間、酸性雨を浴びた森林が枯れる原因を説明する学説は大きく2つに分かれます。その1つは、酸が直接葉に触れて被害を受けるという地上部え死説、他の1つが、酸性雨を長い間受ける続けることにより森林土壌が酸性化してまう土壌酸性化説です。そして現在では、後者の土壌酸性化説が一般的に通用していると言うことができます。つまり、土壌に達した酸性雨は先ず土壌中の養分を植物が利用できない形にしてしまい（こうした状態を土壌の酸性化と呼ぶ）酸性化された土壌中では、それまで土壌粒子にしっかりと固定されていたはずのアルミニウムが溶け出してしまうのです。このアルミニウムこそが植物の生育を著しく妨害することになるのです。言い換えれば、林木は養分を与えられず、根は痛め付けられるという二重苦にさらされることとなり、やがては死にいたるわけです。

森林土壌に達する雨は酸性雨その物であるのか

すでに述べましたが、森林衰退を森林土壌の酸性化という説明されたことは、土壌学の上からも確かに正しかったといえます。しかし、そうした説を唱えられた都会の先生方は重大なことを見落としていました。私どものような日常的に森林と交わっている者からみればすぐに気が付くことなのですが。うっぺいした森林の上へ降ってくる雨水が樹木に全く接触することなく林床へ到達できるなどということは到底考えられないのです。言い換えれば、殆どすべての雨水を構成している樹体に触れた後、林冠からポタポタと落下してくる林内雨としてか、あるいは樹木の葉～枝～幹を伝って流下してくる樹幹流として土壌へ到達するかのどちらかなのです。当然のことながら、樹体と接触してくる間、樹木から様々な生体成分が溶け出して来る筈です。したがって、森林土壌へ到達した時の林内雨や樹幹流は、それが酸性雨であろうとなかろうと、空から降ってきた時の雨水とは根本的に異なったものと考えざるを得ないのです。まさにこの点から私の仕事は始まったのです。

林内雨と樹幹流のどちらが森林土壌にとって重要か

まず、ごく大雑把な例を引き合いに、量的な面からみてみましょう。仮に100mmの降雨があったとしましょう。そうした場合、約60mm相当分が林内雨として林床へ供給されます。一方、樹幹流として供給されるのは約15mm相当分で、残りは蒸発してしまうことになります。こうしてみると、森林土壌にとって樹幹流より

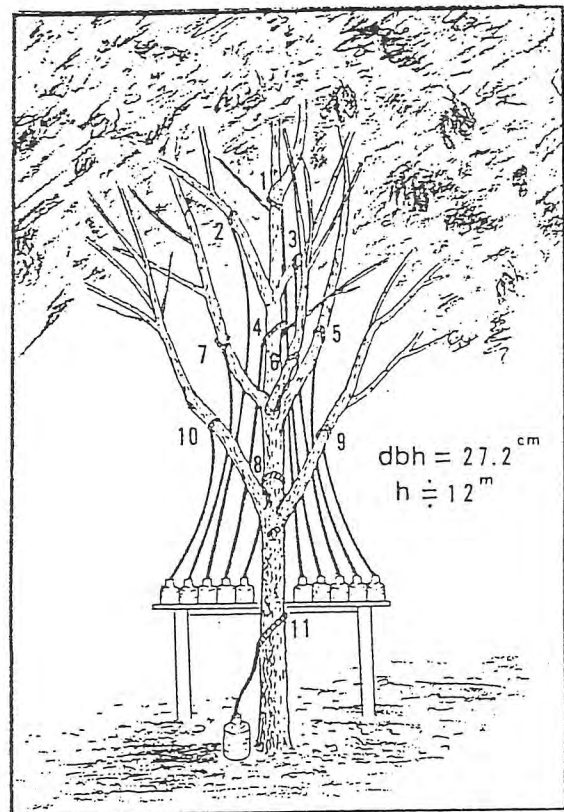
も林内雨の方が大切かのように写るかも知れません。そこでもう一度よく考えてみたいと緒もいます。なるほど、林内雨による林床への水分供給量は確かに樹幹流より多いと言えましょう。しかし、林内雨の殆どは林床表面の落葉・枝落を湿らすことには十分に機能しますが、そのしたの土壤（ここでは鉍物質の部分をさします。）にまで達することができるのは、全体の僅か10～20%程度でしかありません。つまり、全降雨量100 mmのうち10mm相当の雨水しか土壤へ浸み込まないということになります。一方、樹幹流はどうでしょうか。樹幹流は樹冠部～幹～太根～細根というように流れ下り、ごく自然にその殆どすべてが土壤中へ浸み込んでゆくのです。こうしたことから、土壤へ本当に供給できる水量という点で、樹幹流が林内雨より勝っていることがお分かりのことと思います。

なお、林外雨に対する林内雨の量は針葉樹林であれ広葉樹林であれ、大きな違いはありません。それに対し、樹幹流量は針葉樹と広葉樹でかなり異なっています。これは、樹種によって樹幹流が流下し始めるのに必要な降雨量が違うことに起因しているのです。多くの広葉樹では樹皮が流下し始めるのに必要な降水量が違うことに原因しているのです。多くの広葉樹では樹皮が比較的滑らかで、枝を天に向けてあたかもバンザイをしている樹形をとっています。逆にスギのようにがさばった枝葉部と吸水しやすい樹皮を備えたものでは、かなりまとまった降雨でないと樹幹流を生産するには至りません。その違いをごく大雑把にみて、広葉樹では降水量3～4 mm程度から樹幹流が発生し始めるのに対し、スギでは最低10数mmが必要といった差となって現れます。その結果、スギに比べて広葉樹は土壤への水供給能力が圧倒的に優れているということになります。

次に質的な面からみてみましょう。林内雨の多くは樹冠の枝葉部にだけ触れた後落下してきます。それに対し、樹幹流は枝葉部だけでなく、幹樹皮の表面やそのスキ間をなめるようにして流下してきます。つまり、樹幹流は林内雨の何倍も多くの樹種特有な生体物質を溶かし込んでくると考えられるのです。

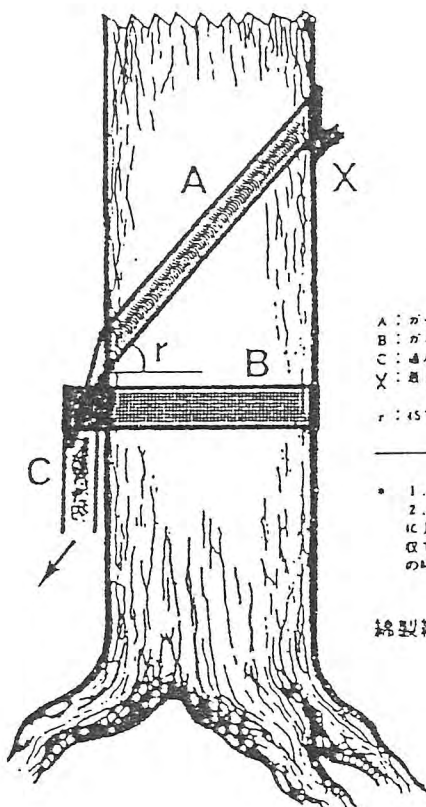
どのようにして樹幹流を集めたのか

樹幹流の質について調べるためには、何と言っても多くの樹種の樹幹流を集めなければなりません。そこで、私はできる限り能率良く樹幹流を集めるため、いろいろ考えました。そして或る日、同僚の一人が汗を吸い取らせるためのサポーターを手首にはめ、額に鉢巻きをしている姿を目にしました。ふだんであれば、何とも思わず、簡単に見過ごしてしまうところだったでしょう。しかし、私の脳裏には樹幹流採取のことがこびりついていたのでした。私は即座に樹幹流採取と鉢巻きを結び付けたのでした。



皮下水の位置別採取法 (イラスト化してある)

話は戻りますが、これまで樹幹流調査が全く行われていなかったと、いうわけではありません。しかし、従来の調査は樹幹部を器具でしっかりと締め上げ、流下してくる樹幹流を採取しようというものでした。これでは”樹体は樹幹流にゴミは混ざる。とても精密調査には使えるものではない。”と私は考えていたのでした。それに加えて、採取装置は高額だし、装置のセッ



- A: ガーゼを必要に応じて重ね合わせ、軽くコンクリートからまく
- B: ガムテープで樹幹に固定
- C: 通水パイプ
- X: 樹上風の固定は樹皮上の突起物、粘りや不定形の基礎を利用
- r: 45°以上の傾斜

- 1. ガーゼの水収容限界は縦30cm、横1mのものが約30mlである。
- 2. 流下は2-3枚重ねればよい。なお、樹幹直径25cm程度の樹皮に上記ガーゼを3枚重ねた場合、樹幹液は約4-5 l/hrまで4回程度とることが実験的に明らかとなっている。この速度は引張器での時間降雨量40-50mmに匹敵する。

綿製網体(ガーゼ)を利用した樹幹流採取方法

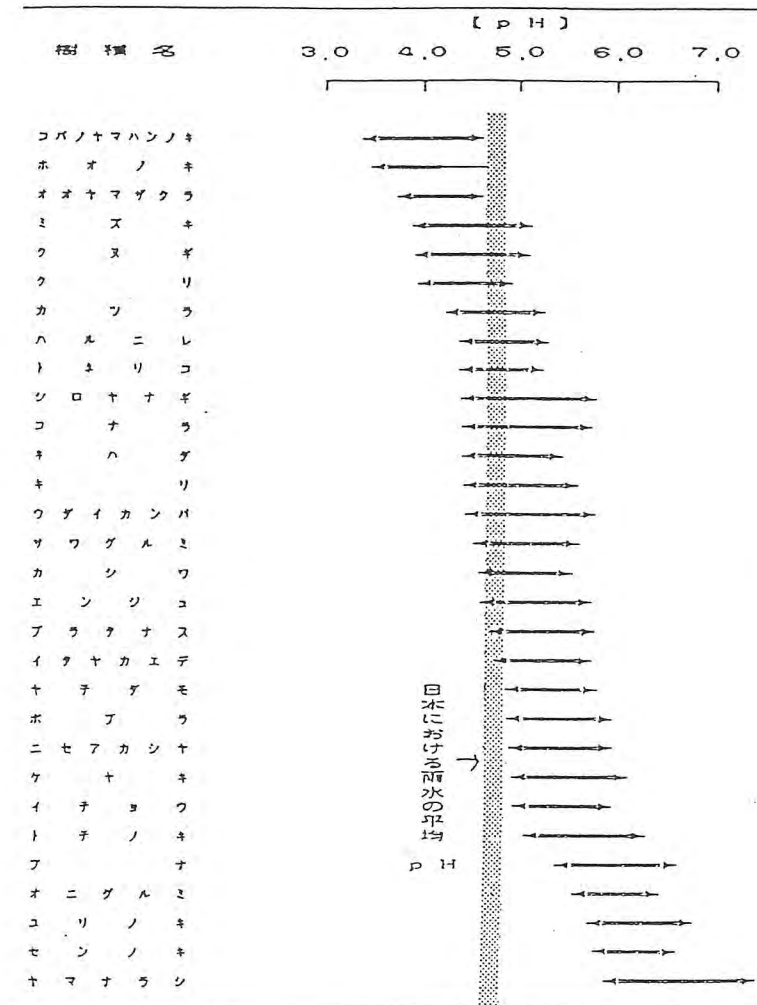
トに時間がかかる，まして樹体に損傷を与えるということもあり，調査象木もごく限られたものだったのです。そんなことでは優れた成果は得られようがありません。そんなことから開発されたのが『金は，かからず，樹木も痛めない，さらに装置の装着が極めて簡単』なガーゼ巻き付け法だったのです。

お陰で，従来の50倍も100倍もの能率で仕事をすすめることができたのです。つまり，外国樹種も含めて針葉樹，広葉樹全部で60種にも及ぶ樹種の樹幹流特性を明らかにすることができたのです。その一部を図に示しますが樹種によりその樹幹流の性質がかなり異なっていることがお分かりのことと思います。そしてそれが，樹種毎に特長ある生体成分に起因したもので，酸性雨の影響とは直接関係がないという結論に達したのです。

樹幹流は森林土壌にどのような影響を及ぼすのか

森林土壌の調査はこれまでに膨大な量で行われてきました。しかし，最近になって，同じ林内の土壌でも立木の根元とそうでない場所で，その性質が大きく異なっていることが明らかとなってきました。このことは根元土壌が樹幹流によって長期間洗われ続けてきた結果，立木から離れた場所の土壌と異なってきたことを示しています。土壌の化学的な変化が立木を中心に同心円状に弱まっていることから疑う余地のないところです。

そこで，樹幹流の化学的性質と根元土壌の化学的性質を比べてみると，樹幹流の酸性が弱く同時にカルシウム，カリウムなどの栄養分を多量に含んだセンノキ，オニグルミ，ドロノキ，ハンテンボクなどの根元土壌は養分に富み，非常に良い土壌へと変化していることが明らかとなったのです。それに対し，樹幹流の酸性が強すぎ，コバノヤマハンノキなどでは根元土壌の養分が欠乏し，酸性の強い土壌へと変化していたのです。つまり，酸性雨による土壌の酸性化もさることながら，それより大きな土壌酸性化の原因として，樹種特有な樹幹流がクローズアップされることとなったのです。



盛岡市周辺に自生あるいは植栽されている主要落葉広葉樹の樹幹液酸性度

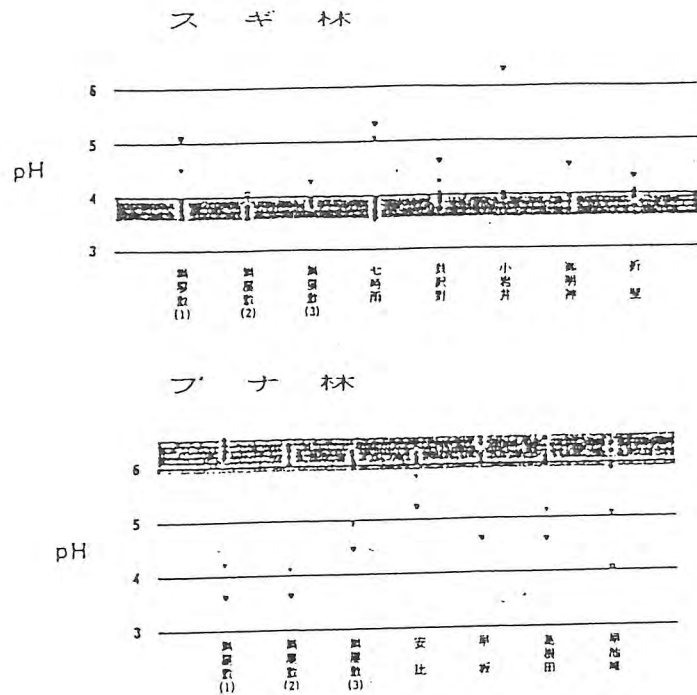
この研究成果をどのように利活用できるか

日本が世界経済の最優位に立ち、日常生活が豊かとなるに連れて、人々の嗜好性もきわめて多様化してきたといわれます。当然、日本人の森林に対する見方も以前とはかなり変わってきて、西欧諸国の人々なみに森林を憩いの空間として考える傾向が強まりつつあるです。こうした状況下で、スギを代表とする人工林眼前に、ある種の不平や不満が国民の間で囁かれ、反感すらもたれている事実を否定のしようもありません。しかし、そのような環境保護的な考え方の高まりと平行して、各国の資源ナショナリズムが近い将来台頭するだろうことも容易に予測されるどころです。そうなれば、木材や木製品を好む我が日本人にとって、森林が木材生産の場としていかに大切であるかを再び考えなくてはならなくなるでしょう。そこで、そうした日を迎えるまでの国民が現在森林に求める各種要望を満たせ、なおかつ将来の林業経営に対する1つの指針を与えるものとして、針広混交林をつくることはどうでしょうか。混交林は昔から病虫害や風害、それに山火事にも強いと言われてきました。またそこでは、建設用材としての針葉樹はもとよ

り、今後ますます貴重品化してゆくと考えられる広葉樹材も育成しておけます。ただ、そうかと言って、まだ何ら混交林造成に対する技術的ノウハウが確立されていない現在、闇雲に事を進めるのは余りに危険が大きいことは言うまでもありません。

こうした中で、折も折、目下盛んにマスコミを賑わしている地球規模の環境研究のうち酸性雨研究を通じて、樹木にはそれぞれの特性が備わっており、ある樹種はそこに生育しているというだけで土壌

を酸性化（疲労化、貧栄養化）してしまい、逆に別のある樹種は土壌の酸性化抑制あるいは矯正（すなわち、林地に石灰を散布したと同じ効果）に働いているという事実を私は見いだしてきました。中でも、センノキは林地への水供給、土壌改良機能を併せ備え、同時に極めて高価値な材生産ができる樹種であると言えます。もち論、この他にもより優れた樹種のあることが想像されます。したがって今後は、森林土壌管理面からみて、スギの欠点を補える特性をもった他の有力広葉樹の発掘に努力し、混交林造成への土壌科学的裏づけをより強固なものとしてゆきたいと考えております。



スギ林、ブナ林におけるサンプリングごとの林外雨(▽)、林内雨(▼)および土壌pH(●)のpH値 【着色帯はおおよそのレンジを示す】