

人工造林地における樹幹流の酸性度と周辺土壌への影響

国立研究開発法人森林総合研究所 森林整備センター

関東整備局 宇都宮水源林整備事務所 造林係主任 清野 陽介

主 幹 佐藤 正道

中部整備局

収 穫 係 柴田 章治

1 はじめに

(1) 酸性雨による環境被害

酸性雨は、19世紀のイギリスにおいて、産業革命による石炭やコークスの燃焼で排出される硫酸化合物などが急増したため発生し、環境問題をまねきました。1960年代以降、ヨーロッパ全土や北アメリカにも広がり、森林の衰退など、深刻な環境被害をもたらしました。

日本では、1970年代に、北関東や神奈川県の日沢山地などで、樹木の立ち枯れ現象が発生し、その原因の一つとして、酸性雨が疑われました。

(2) 鹿児島県内ヒノキ造林地での樹勢衰退・立ち枯れ

平成17年秋頃から、鹿児島県内の緑資源機構（当時）事業地のヒノキ造林地（20～25年生）及び隣接ヒノキ造林地（90年生）で、樹勢衰退や立ち枯れが見られ、その原因の一つとして酸性雨が考えられました。この時は、土壌改良も考慮し粉炭散布が行われましたが、森林施業による対策が可能であれば望ましいとして、当時報告されていた酸性雨に対する森林の持つ緩衝機能に着目した調査・研究を参考に、栃木県内の事業地でも樹幹流の調査を始めました。

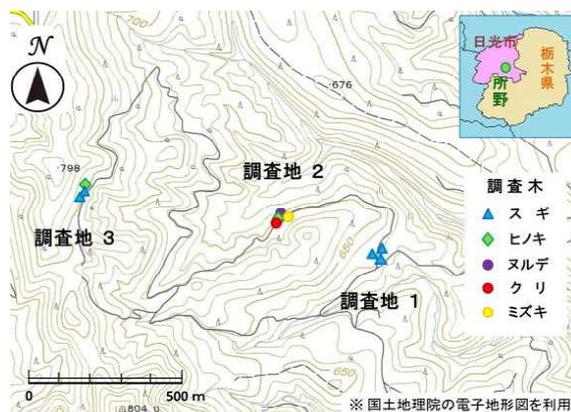


図-1 調査地の位置

(3) 調査目的

樹幹流に関する過去の研究では、

- ・ 降水の酸性度によらず、樹幹流は樹種により一定の酸性度を示す
- ・ スギ、ヒノキの樹幹流は比較的高い酸性度を示し、降水の酸性度をより高める働きが見られる
- ・ 広葉樹は樹種によるが一般的に樹幹流の酸性度が低く、降水の酸性度を弱める働きが見られるとの報告がされており、こうした研究成果を水源林の整備にも応用できるのではと考え、スギ、ヒノキの造林地において、樹幹流の酸性度の測定を継続して行い、検証してみました。

表-1 調査地の概要

2 樹幹流の調査

(1) 調査地

調査地は、栃木県北西部に位置する日光市所野の水源林造成事業地で、標高は600～800m程度、人里から、市道、林道、作業道を使って20分足らずの造林地です。ここに調査地を3箇所設けました（図-1）。

各調査地の概要は表-1、外観は写真-1

	調査地 1	調査地 2	調査地 3
標 高	630 m	650 m	750 m
斜面の向き	南東	北北西	東南東
傾 斜	10～15度	30～35度	15～20度
造林樹種	スギ	ヒノキ	スギ、ヒノキ
植栽年度	S46～48	S46・47	S46～48
調 査 木	スギ 3本		スギ 2本
		ヒノキ 1本	ヒノキ 1本
		ヌルデ1本 → ミズキ1本 クリ 1本	

～3のとおりです。

調査木は、調査地1ではスギ3本、調査地2ではヒノキ・ヌルデ・クリ各1本、調査地3ではスギ2本・ヒノキ1本としました。調査地2のヌルデは平成22年8月に枯死したため、以降、近くのミズキをその代わりとして調査木としました。

各調査木の概要は表-2のとおりです。

表-2 調査木の概要

樹種	調査地	胸高直径 (cm)			樹高 (m)		備考
		周囲長	胸高直径	樹種平均	樹高	樹種平均	
スギ①	1	78	25	25	22	22	
スギ②	1	79	25		21		
スギ③	1	76	24		23		
スギ④	3	84	27		22		
スギ⑤	3	76	24		20		
ヒノキ①	2	47	15	19	14	16	
ヒノキ②	3	75	24		18		
ヌルデ	2	—	—	—	—	—	H22.8 枯死
クリ	2	81	26	26	17	17	
ミズキ	2	19	6	6	6	6	ヌルデ枯死に伴い H22.10.5から採取

※調査木の周囲長・樹高は、平成28年12月6日に測定。

(2) 樹幹流の採取方法

平成18年度から試験的に、平成21年度からはほぼ2ヶ月ごとに樹幹流を採取し、定期的な調査を始めました。

樹幹流の採取は、プラスチックボトルを調査木に設置し、木の幹に巻いたナイロン製ロープで集めた樹幹流をボトルに貯めるという方法で行いました。写真-4は、試行錯誤しながら改良を重ねた最終型のものです。ボトルをマジックテープで調査木に貼り付け、さらに荷造り用のバンドでとめているところがミソです。

林内雨と林外雨については、試験的に、平成28年に林内雨を3回、林外雨を2回採取しました。丸太杭の上にビーカー状のプラスチック容器を固定し、その中にじょうごを刺したプラスチックボトルを置くようにしました。雨をじょうごで受け、採取するというものです。

(3) 測定方法

採取した樹幹流は、当初は現地にて、途中よりプラスチックケースに取り事務所に持ち帰って、酸性度、電気伝導率、塩分濃度を測定しました。



写真-1 調査地1 (スギ造林地)



写真-2 調査地2 (ヒノキ造林地)



写真-3 調査地3 (スギ・ヒノキ造林地)

写真-4 樹幹流の採取

(林内雨・林外雨)

測定には、酸性度（pH）はホリバ製の「ラクア・ツイン」を、電気伝導率及び塩分濃度はホリバ製の「ラクア・ツイン・コンド」を用いました（写真－５）。

ただし、平成23年6月から平成24年6月までの酸性度の測定値（図－3、黄色の四角で囲った範囲）については、pH測定器に不具合があり、信頼性が低いと思われるため除外しています。

（４）測定結果

樹幹流の測定結果を降水の酸性度及び電気伝導率と比較するため、降水のデータとして、栃木県保健環境センターが公表している宇都宮と日光中宮の値（1））を用いました。樹幹流の調査地所野は、宇都宮と日光中宮のほぼ中間あたりに位置しています。

① 酸性度（樹種別）（図－２）

降水の酸性度は平成21～27年度の平均で宇都宮pH4.8、日光中宮pH5.0です。降水は、大気汚染物質がなかったとしても大気中の二酸化炭素が十分溶け込んだ場合pH5.6程度になることから、宇都宮、日光中宮の降水とも酸性度が高いと言えます。

これに対し、スギの樹幹流は、調査木5本の平均でpH4.4となり、降水よりもさらに酸性度が高くなり、ヒノキでは、調査木2本の平均で降水の酸性度とほぼ同じpH4.8を示しました。また、スギ、ヒノキでは、標準偏差がほぼ1.0で、かなりばらつきが大きいと言えます。

一方、広葉樹は、ヌルデがpH6.5、クリpH6.1、ミズキpH5.5となり、いずれも降水よりも中性寄りの酸性度を示しました。ばらつきも、ヌルデ、クリについては標準偏差0.5程度で、小さい結果となりました。

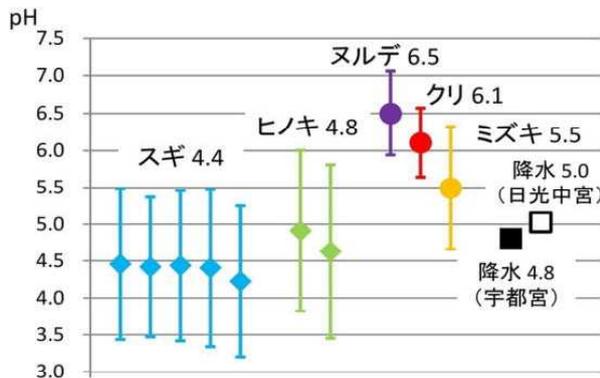
② 酸性度（変動）（図－３）

測定を開始した平成21年から28年までの酸性度の変動について見てみると、季節的な変動傾向や経年変動などは特に見られませんでした。

ちなみに、宇都宮と日光中宮の降水では、pHが徐々に上昇する経年変動が見られ、酸性雨が改善しているのかもしれませんが。

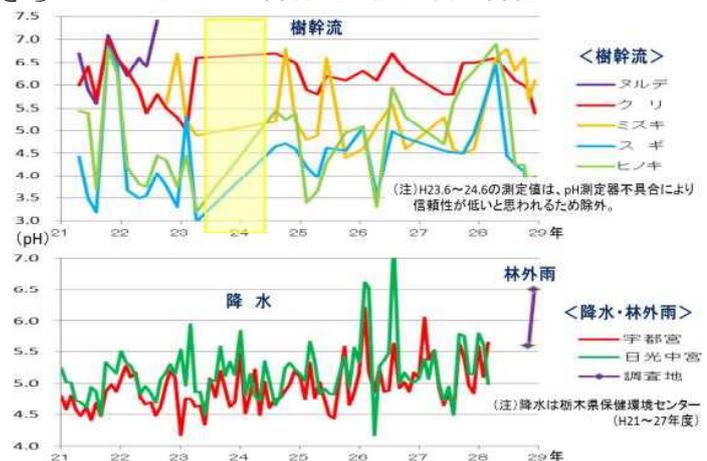


写真－５ 酸性度・電気伝導率の測定



（注）降水は栃木県保健環境センター（H21～27年度の平均）

図－２ 樹幹流の酸性度（樹種別）



図－３ 樹幹流の酸性度の変動

③ 電気伝導率（樹種別）（図－４）

宇都宮と日光中宮の降水では、それぞれ $15 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、 $9 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、イオン性物質がほとんど溶けていないことが分かります。

樹幹流では、スギの平均が $172 \mu\text{S}/\text{cm}$ と高く、またばらつきも大きくなり、ヒノキは平均で $115 \mu\text{S}/\text{cm}$ となりました。広葉樹では、ヌルデが $93 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、クリが $81 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、ミズキが $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ となりました。

電気伝導率の測定結果と、スギの酸性度が高いことを考えると、スギの樹幹流には酸性のイオン性物質が多く含まれているということが言えます。

④ 電気伝導率（変動）（図－５）

平成21年から28年までの電気伝導率の変動を見てみると、各樹種とも春頃に電気伝導率が上昇する傾向が見受けられます。宇都宮と日光中宮の降水では、季節的な変動は認められないことから、樹幹流特有の特徴なのかもしれません。

⑤ 酸性度と電気伝導率（図－６）

樹種別にみると、広葉樹ではpHと電気伝導率に特に相関は認められませんでした ($R = -0.02 \sim 0.21$)。

一方、スギ、ヒノキでは、pHが小さい（酸性度が高い）範囲に限っていうと、pHと電気伝導率の間に強い負の相関関係が認められました。例えば、pH 4.5以下では、相関係数は、スギで -0.69 、ヒノキで -0.74 となりました。

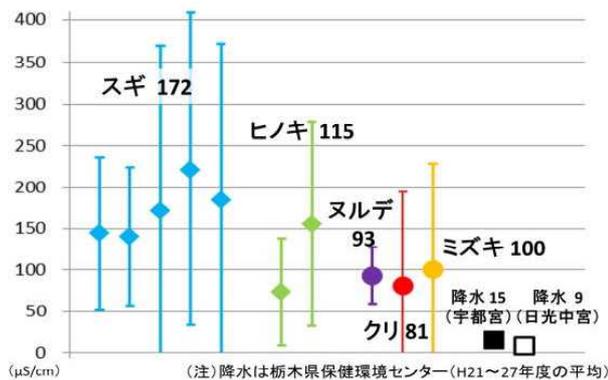
⑥ 塩分濃度

調査地2のヌルデで9回測定中0回、クリで41回中1回、ミズキで32回中1回、ヒノキ1本で37回中1回しか塩分が検出（濃度0.01%以上）されなかったのに対して、調査地1及び3のスギ調査木5本では191回中34回、ヒノキ1本では38回中8回と、度々塩分が検出されました。

これは、南風によって運ばれた太平洋由来の塩分が、陰となる北向き斜面の調査地2よりも、南東向き斜面の調査地1及び3で立木に多く付着し、検出されたものではないかと推定されます。

⑦ 林内雨と林外雨

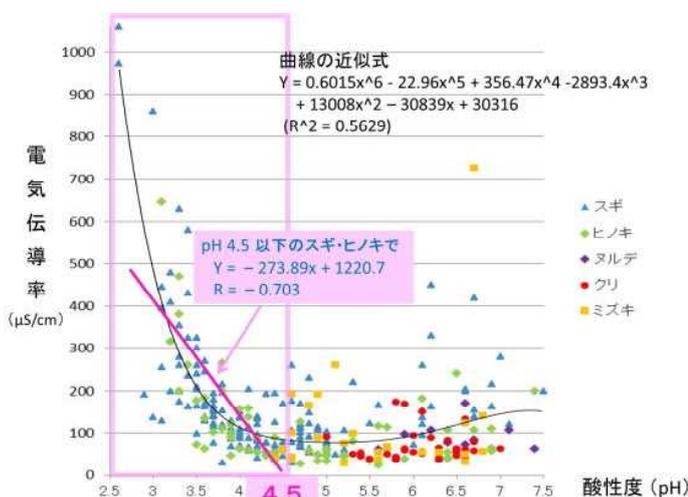
平成28年10～12月に、林内雨（調査地1～3の3箇所）を3回採取・測定し、平均でpH



図－４ 樹幹流の電気伝導率（樹種別）



図－５ 樹幹流の電気伝導率の変動



図－６ 樹幹流の酸性度と電気伝導率

5.8 (5.0~6.7)、林外雨(調査地2)を2回採取・測定し、平均でpH6.0(5.6~6.5)を示しました。

(5) 樹幹流の傾向・特性

樹幹流の測定結果をまとめると、次のようになります。

① 樹幹流の酸性度

降水の酸性度によらず、樹種ごとに一定の酸性度を示しました。

- ・スギの樹幹流は酸性度が高く、降水の酸性度を高める働きがあると考えられる
 - ・ヒノキの樹幹流は酸性度がやや高く、今回の調査では、降水の酸性度とほぼ同じ
 - ・広葉樹3種の樹幹流は酸性度が低く、降水の酸性度を低くする働きがあると考えられる
- また、季節による規則的な変動などは見られませんでした。

② 樹幹流の電気伝導率

いずれの樹種も、降水より高い値を示しました。特にスギでは、他の樹種よりも高い値でした。また、全ての樹種で、春に電気伝導率が上昇する傾向が認められました。

③ 酸性度と電気伝導率との関係

スギとヒノキについては、酸性度が高くなるに従い、pHと電気伝導率との間に強い負の相関が認められました。これは、スギとヒノキの樹幹流の酸性度が、樹幹流に含まれるマイナスのイオン性物質の量に関係することを示しているものと考えられます。

3 周辺土壌の酸性度の調査

(1) 調査方法

スギの樹幹流が強い酸性を示すことから、周辺土壌に影響を与えているのではないかと考え、土壌の酸性度を測定してみることにしました。

平成28年11月、調査地1~3に、2.5m×2.5mの方形区を計4箇所設置し、各方形区を50cmの格子状に区切り、その交点6×6=36点で、深さ5~10cmの土壌を採取しました。

採取した土壌は丸2日間風乾し、ふるいにかけて石などを除いた後、乾燥土壌10gに対し精製水25gを加え攪拌して放置、上澄み液をホリバ製の「ラクア・ツイン」で測定しました(H₂O法)。

(2) 調査結果(図-7)

調査地1の方形区では中央付近にスギがあり、このスギが接した土壌採取点の試料でpH4.2という高い酸性度を示しました。また、この調査地1は、他の調査地と比較して全体的に土壌の酸性度が高く(pHが低く)なっていました。

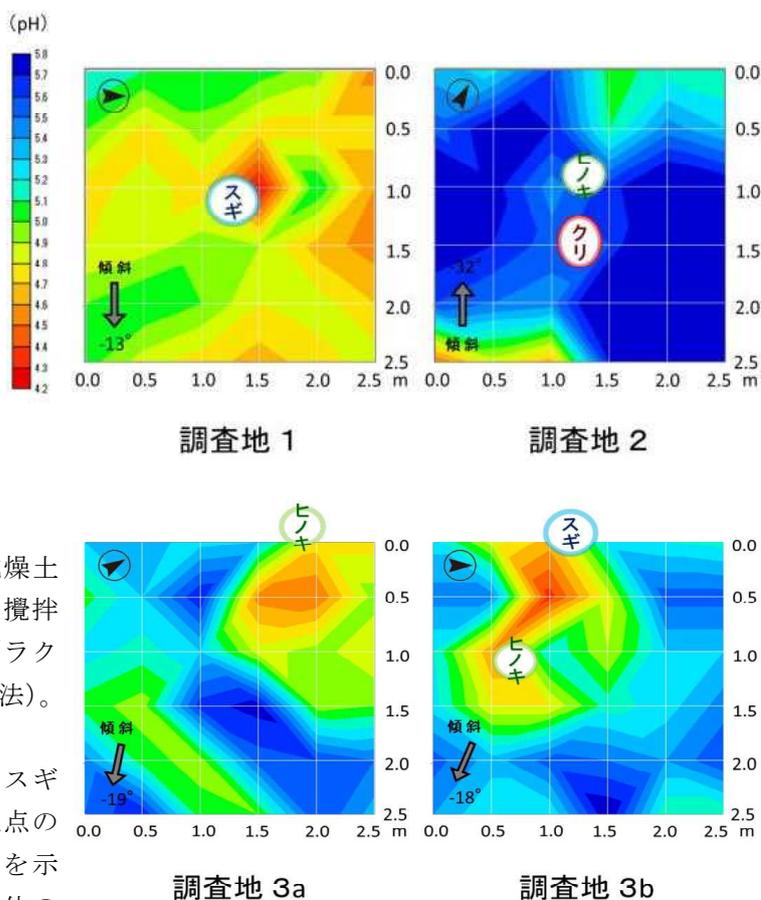


図-7 土壌の酸性度分布図 (Graph-RIにより作図)

調査地2では中央にクリがあり、クリの斜面下方に隣接する形でヒノキがあります。クリ、ヒノキを含め、全体的にpH5.5以上の酸性度を示しています。ヒノキの斜面下方（図では右上）には、やや酸性度の高いpH5.0の区域があります。

調査地3の1つ目の方形区3aでは右上にヒノキがあり、ヒノキの斜面下方（図では下）に酸性度が少し高い点が認められました。

調査地3の2つ目の方形区3bでは上部真上にスギが、方形区中央やや左寄りにヒノキがあります。スギからヒノキにかけての土壌の酸性度が高いことが分かります。

（3）樹幹流と周辺土壌の酸性度

土壌のpHの測定結果をまとめると、次のようになります。

- ・スギの根元の土壌酸性度は高い
- ・ヒノキは3本のうち2本で根元の土壌酸性度が高かったが、斜面上部にクリが隣接している1本は周囲との変化が小さい
- ・クリの木は、根元と周囲の土壌酸性度の変化は小さい

このことから、スギは、酸性度の高い樹幹流の影響で根元の土壌が酸性化しているものと推定され、一方、クリでは、樹幹流の酸性度が低いため土壌に影響を与えていないと推定されました。

また、クリを含む広葉樹は、一般に樹幹流の酸性度が低いものが多いことから、スギやヒノキによる土壌の酸性化を緩和する働きが期待できるのではと考えられます。

4 最後に

約10年にわたり実施してきた樹幹流の酸性度の調査については、これまでの累次の研究成果とほぼ同様の結果を得ることができました。森林土壌環境の保全の観点からも、施業方法として、針広混交林の造成が望ましいことが示されたと考えます。

この結果は、平成28年5月に閣議決定された「森林・林業基本計画」にある、「針広混交の育成複層林の造成等へ転換する施業を推進する」という水源林造成事業の方向性に正に合致するものと言えます。

森林整備センターでは、今後も広葉樹を保残する等を通じて公益性の高い森林の整備を進めていきたいと考えています。

引用文献

1) 栃木県保健環境センター大気環境部：平成21年度～平成27年度湿性沈着調査結果, センター年報, 第15号(2010)～第21号(2016)

参考文献

- ・ 汐月美奈子他：スギ・ヒノキ樹幹流の酸性度と土壌への影響, 日林九支研論集, No. 44(1991)
- ・ 諫本信義他：数種の樹種における樹幹流の化学的性状と季節変動, 大分県林試研報, No. 12(1994)
- ・ 高橋忠幸：主な落葉広葉樹樹幹流の酸性度とヤマナラシ樹幹流による土壌酸性化抑制機能, 岩手林技セ研報, No. 6(1996)
- ・ 酒井正治：森林土壌の酸性化と樹幹流との関係, 森林総研九州支所九州の森と林業, No. 35(1996)
- ・ 竹中千里他：落葉広葉樹樹幹流の化学的特徴, 名大森研, No. 17(1998)
- ・ 垣原登志子他：酸性雨に対する日本の主要樹種の酸中和特性, 海岸林学会誌, No. 6(1)(2006)
- ・ 酒井正治他：竹林とスギ林における林内雨、樹幹流成分および土壌水分の比較, 九州森林研究, No. 60(2007)