

森林の公益性を計る

秋田県林業技術センター 澤田 智志

I. はじめに

平成10年の林業白書では、国有林野事業の抜本的改革を押し進めるに当たり、公益的機能を重視した管理経営の推進を重視することとし、改革前は5割だった公益林を新たな機能類型区分の中で8割まで拡大するとしている。公益性を強調しようとする動きはなにも森林に限ったものではなく、公益性が森林よりもはるかに低いと思われる農業などの分野でも公益性を発揮しているという主張がなされるようになってきている。一概に公益性と言っても、その機能は多方面に及んでおり、機能によっては相反する作用をする場合もあり注意を要する。ここでは、最近マスコミを賑わしている機能に着目して、現地での実験データをもとに検証を行った結果を報告する。

II. 森林土壌の酸性化を計る

最近、一部の樹幹流の研究(1~3)からスギの樹幹流は酸性が強いことが問題とされ、スギ林は酸性雨の悪玉であるという新聞報道がなされたことがある。しかしながら、演者をはじめとする研究者のデータはマスコミの報道とは異なる。スギ林下の土壌では、高齢の林分ほど土壌表層部にスギの落葉から供給されるカルシウムを主とした塩基が蓄積し、土壌の酸性は弱められることを演者ら(4~6)は報告してきた。また、スギでは樹幹から1m前後離れると、この酸性の樹幹流の影響は小さくなるという報告(7)もある。そこで、樹幹流の酸性が強いスギと樹幹流が中性に近いブナが混交している高齢の林分において、樹木とその樹冠下の土壌の理化学性との関係について検討を行った。また、雨水と樹幹流の量と成分を分析し、土壌への影響因子としての樹幹流等雨水の影響を測定した。

1. 調査地の概要

調査地は角館町中川の民有林で、上層木はスギ、ブナ、クリなどで、林齢は100年以上と推定される。調査地の傾斜は0~5度とほぼ平坦で、土壌は厚層多腐植質黒ボク土に分類される。

2. 調査及び分析方法

調査林分内に30m×40mの調査地を設け、調査地内の立木の樹高、胸高直径の毎木調査と林分の樹冠投影図(図-1)を作成した。調査地内の上層木12本については幹から4方向に、幹からの距離20cm、50cm、1m、2mの位置で表層部0~10cm深の土壌を採取した。また、樹種の特徴が現れている樹冠下では表層から20cm深まで5cm間隔で土壌を採取し分析に供した。

土壌試料は風乾後、2mmのふるいを通し分析に供した。土壌のpHはガラス電極法、陽イオン交換容量はセミマイクロSCHOLLENBERGER法、全炭素および全窒素はCNコーダー(ヤナコ製)により測定した。

調査地内の上層木8本についてウレタンラバー製の樹幹流採取装置を巻き付け溶液

を採取し、雨水は直径30cmの円形漏斗を用いた雨水採取装置を林外とスギ、ブナ樹冠下にそれぞれ2箇所ずつ設置し溶液を採取した。採取した溶液は量と成分の分析を行った。いずれの溶液も1997年9月から1998年9月までの1年間採取し、凍結する冬季間は採取しなかった。採取した溶液はろ紙でろ過した後、pHはpHメーター、ECは導電率計、Ca、Mg、K、Naは原子吸光光度計、アンモニアはインドフェノール法、塩化物、亜硝酸、硝酸、硫酸イオンはダイオネクス社製イオンクロマトグラフィーで分析を行った。

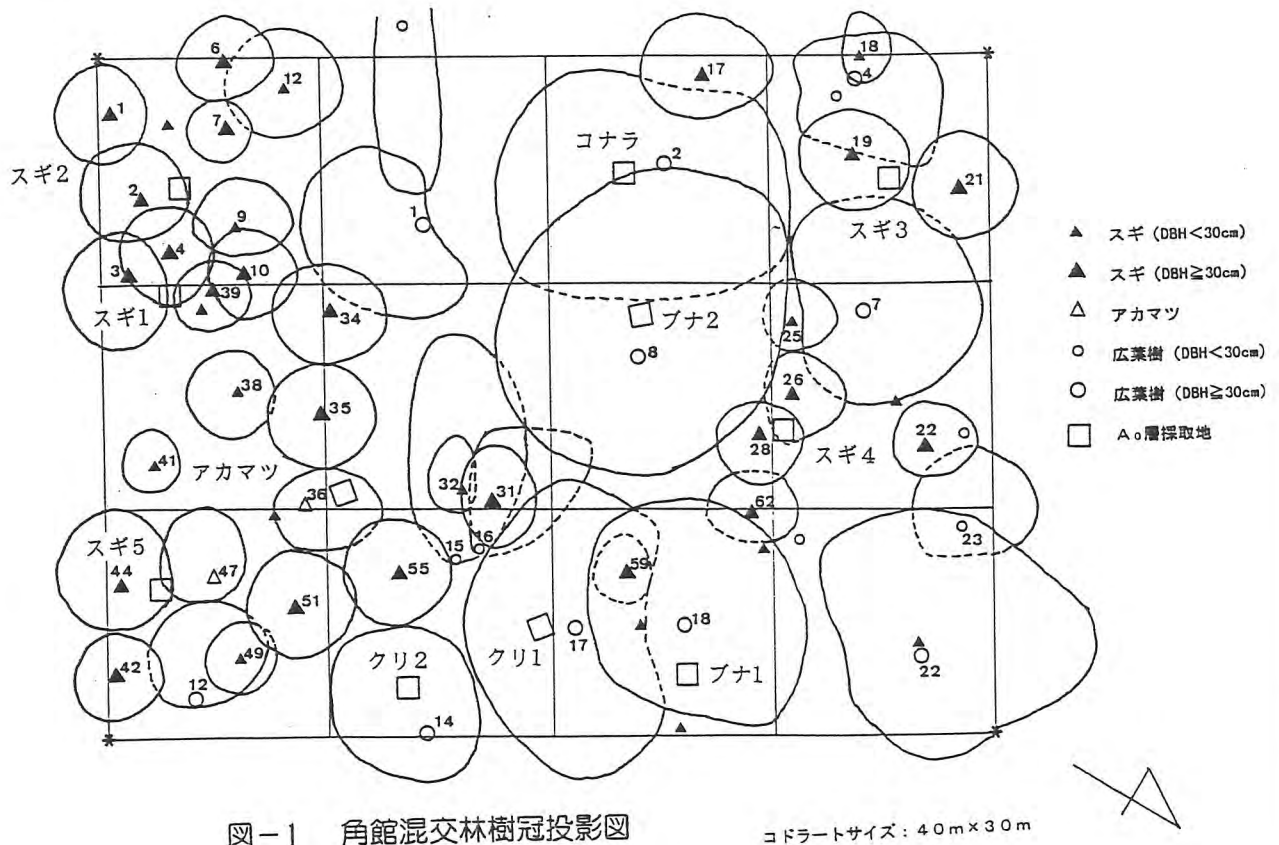


図-1 角館混交林樹冠投影図

コードラートサイズ: 40m x 30m

3. 結果の概要

(1) 土壌の理化学性

調査地で林木の影響のない所の土壌pHは表層部で4.3、深さ50cm以下の所で4.6と酸性が強く、塩基の蓄積に乏しい状態となっている。図-2に示したように、林内でスギの密度が高い所の土壌表層部のpHは5.3~5.4と高く、交換性カルシウムも蓄積していたのに対し、ブナ樹冠下の土壌表層部のpHは4.1~4.4と酸性が強く、カルシウムなどの塩基の蓄積は認められなかった。また、スギの樹冠下でもスギの密度が低い所の土壌pHはブナの樹冠下と同じぐらい低く、塩基の蓄積にも乏しかった。表-2にはスギとブナの生育密度の高い場所での幹から1m離れた位置での土壌断面における深さ別の理化学性を示したが、図-3にpHと交換性カルシウム含有量をまとめて示したように、樹幹流の酸性が強いと言われるスギ樹冠下では土壌表層部ほどスギの落葉から供給されるカルシウムなどの塩基が蓄積することによって、土壌のpH値は中性に近くなり、樹幹流が中性に近いと言われるブナよりも酸性が弱まる結果となった。

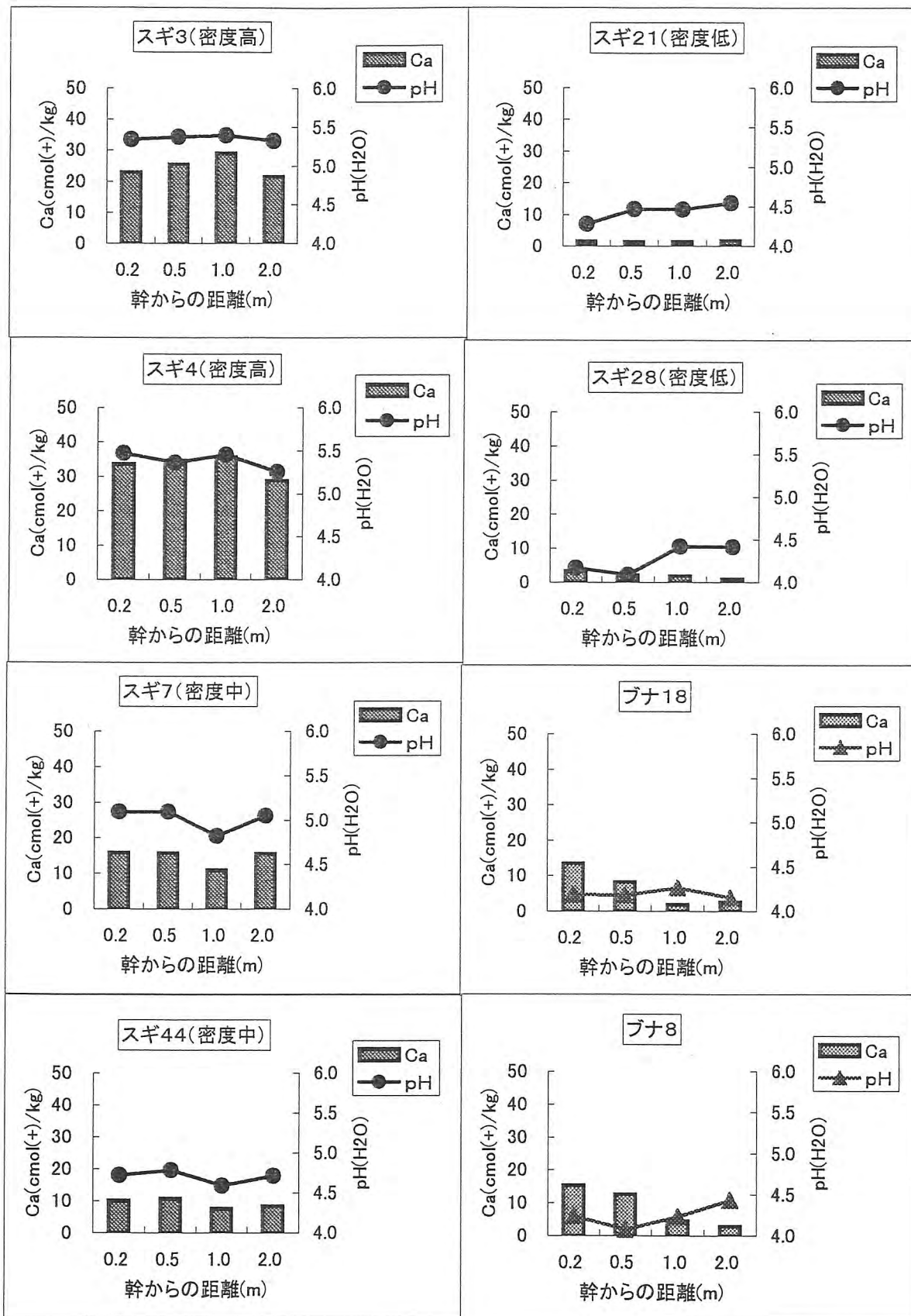


図-2 幹からの距離別土壌pHと交換性カルシウム含量の関係

表-1 土壤試料分析表

採取地名	層位	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N比	pH (H ₂ O)	CEC*	交換性陽イオン*				B.S. (%)
							Ca	Mg	K	Na	
(土壌断面調査地)	角館混交林 A11	13.86	0.78	17.82	4.33	46.80	2.14	0.85	0.51	0.12	7.72
	A12	8.81	0.46	19.15	4.55	36.69	0.12	0.19	0.14	0.18	1.73
	A13	5.44	0.27	19.96	4.52	27.84	0.06	0.08	0.15	0.16	1.64
	B	0.53	0.05	11.44	4.67	10.49	0.09	0.23	0.19	0.26	7.45

*cmol(+)/kg-1

表-2 土壤の一般理化学性 (幹から1mの地点での深さ別サンプリング)

採取地名	深さ	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N比	pH (H ₂ O)	CEC*	交換性陽イオン*				B.S. (%)
							Ca	Mg	K	Na	
ブナNo.18	0-5	20.70	1.10	18.84	4.07	66.27	6.45	2.69	0.75	0.17	15.17
	5-10	12.29	0.68	17.94	4.09	49.74	1.33	0.85	0.46	0.14	5.60
	10-15	9.12	0.49	18.77	4.26	39.35	0.30	0.34	0.27	0.11	2.62
	15-20	7.44	0.37	19.90	4.30	37.13	0.21	0.26	0.20	0.13	2.17
スギNo.4	0-5	21.21	1.04	20.40	5.50	74.93	44.29	5.40	0.98	0.32	68.05
	5-10	11.04	0.59	18.78	5.36	49.02	20.71	2.91	0.66	0.17	49.88
	10-15	9.22	0.49	18.83	5.04	39.67	7.84	1.56	0.36	0.14	24.98
	15-20	8.85	0.47	18.98	4.74	37.57	4.06	1.06	0.26	0.14	14.68

*cmol(+)/kg-1

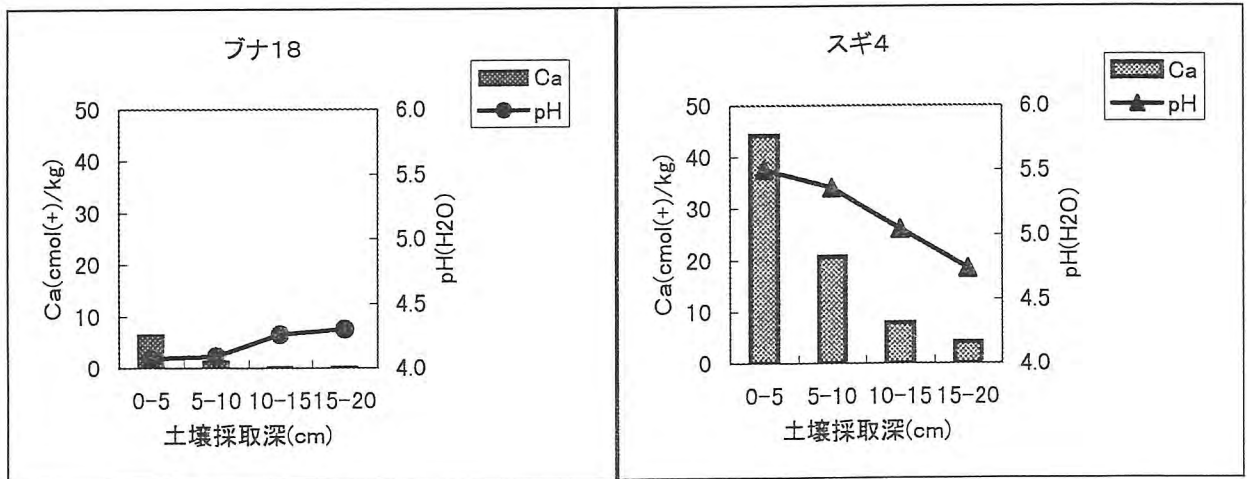


図-3 土壤深別のpHと交換性カルシウム含量の関係

(2)樹幹流と林内外雨

表-3に示したように、樹幹流のpHは4.3~6.0の範囲にあり、樹種別に酸性が強い順に並べると、スギ>>クリ・マツ・コナラ>>ブナとなる。雨水では4.9~5.8の範囲にあり、酸性が強い順に並べると、林外雨>>スギ・ブナとなり、スギに関しては樹幹流のように酸性が強くなる傾向は認められなかった。樹幹流のECは21~90 μ S/cmの範囲にあり、酸性の強いスギが高く、酸性の弱いブナが低くなっていた。雨水のECは6~31 μ S/cmで樹幹流よりは低くなっており、酸性の強い林外雨のECが低かった。また、ECは溶液採取量と良く対応しており、降水量が多く溶液採取量が多い時は低く、降水量が少なく溶液採取量が少なくなると高くなっていた。pHとECの間にはR²で0.5の相関となっていたが、林分を通過しない林外雨のデータを除くとR²は0.8と相関がより高くなり、ECが高くなるほどpHの酸性が強くなる傾向にあった。樹幹流では濃度で比較した場合、確かにスギの樹幹流はpHが低く、ブナは高くなっていた。ところが林内雨は両者とも弱酸性で、林外雨より高いpHとなっていた。

本実験では最大1トンの樹幹流を採取できるタンクを使用したが、1回の降雨でブナの樹幹流などではそれでもオーバーフローする時があった。雨水に関しては全期間を通じて採取できたので、雨水と林内雨および樹幹流量との相関を検討した。林内雨と林外雨の間には高い相関関係が認められ、スギの方がブナよりも高い相関が認められた。樹幹流と降水量にはある程度の相関が認められた(特にブナではR²=0.9)ので、溢れた分は推定値で樹幹流量を計算することとし、表-4に採取量とその成分量を示した。樹幹流量はブナが30tと最も多く、次に多いスギの30倍の量となりました。樹幹流の採取量を樹冠(Crown)占有面積で割って降雨量と比較すると、林外の降水量が1,942kgなのに対し、ブナでは380kg、スギで59kgと計算される。林内雨も同様に降水量と比較すると、ブナ林内雨で1,225kg、スギ林内雨で1,459kgとなり、降水量換算値では樹幹流よりも、林内雨の方が林地に多く付加された計算となる。林内雨と樹幹流の合計は、ブナで1,605kg、スギで1,518kgとなり、降水量換算でブナ337kg、スギ424kg、つまり約20%の降雨が樹木により樹冠遮断されたことになる。

表-3 樹幹流、雨水および土壌水の養分組成

単位: μ eq/l

Sample	pH	EC(μ S/cm)	Ca	Mg	K	Na	NH4	Cation計	Cl	NO2	NO3	SO4	Anion計
樹幹流ブナ	6.04	21.1	12.8	9.1	110.6	34.8	58.0	225.3	51.1	-	15.8	29.1	96.1
樹幹流スギ	4.27	89.7	80.9	54.4	130.2	233.1	301.5	800.1	326.1	12.0	91.3	67.1	496.5
樹幹流マツ	4.71	53.5	117.9	41.9	105.4	122.2	172.0	559.4	125.4	13.0	50.9	32.1	221.3
樹幹流クリ	4.69	56.6	323.0	105.2	163.5	102.8	94.0	788.4	103.3	-	40.0	23.8	167.1
樹幹流コナラ	5.04	60.4	469.7	98.7	221.0	91.9	102.0	983.2	95.3	1.0	59.6	28.8	184.7
ブナ樹冠下	5.77	30.8	26.6	14.9	100.0	40.8	26.0	208.2	67.7	-	15.9	38.4	122.0
スギ樹冠下	5.63	23.3	89.0	46.8	101.9	73.3	123.0	433.9	130.5	-	34.4	34.7	199.6
林外雨	4.93	6.1	9.9	6.1	7.0	22.4	18.0	63.4	30.4	-	9.7	20.9	61.1
土壌水ブナ	5.09	43.22	22.3	42.2	3.2	181.3	-	249.0	108.8	-	11.0	97.6	217.4
土壌水スギ	4.85	55.34	146.9	136.3	5.6	255.5	-	544.4	175.0	-	256.8	108.2	540.1
土壌水林外	5.15	30.43	74.6	74.6	3.6	107.8	-	260.6	31.4	-	73.8	81.1	186.3

(注)アンモニアの測定は一部のみ

表-4 樹幹流、雨水の採取量

単位: g

Sample	DBH(cm)	採取量(kg)	Ca	Mg	K	Na	Cl	NO3	SO4
樹幹流ブナ1	51.0	30,192	10.20	2.89	100.74	21.86	45.63	23.09	32.88
樹幹流スギ1	42.0	1,043	1.07	0.41	3.22	3.62	7.30	3.72	1.51
樹幹流スギ2	35.0	80	0.18	0.05	0.37	0.53	1.02	0.33	0.40
樹幹流クリ	50.5	730	4.35	0.57	3.55	1.26	1.72	1.03	0.70
樹幹流コナラ	60.5	750	4.31	0.55	4.82	1.17	1.45	1.22	0.72
ブナ樹冠下		87	0.03	0.01	0.27	0.09	0.21	0.07	0.13
スギ樹冠下		103	0.13	0.04	0.29	0.31	0.38	0.14	0.13
林外雨		137	0.02	0.01	0.03	0.07	0.27	0.06	0.11

III. 森林の公益的機能を計る

森林を木材生産の面だけでなく、公益的機能も視野に入れた多方面から捉えようという試みがあらゆる方面から取り組まれるようになってきている。ここでは、森林の炭素固定量や森林土壌の水分状態の変化に着目して、森林の機能評価を行うことを目標とした。

1. 研究方法

調査地は仙北郡角館町に位置し、林齢は40～60年生の私有林となっており、このスギ林、広葉樹林、混交林の3タイプの林分で林分調査と土壌調査を行った。また、平成9年4月～11月までの期間にスギ林、広葉樹林、混交林の土壌深10、30、50、70、90cmに大起理化製テンションメーター（DIK-3150）を設置しpFを測定した。土壌は層位別に採取し、全炭素はCNコーダー（ヤナコ製）で分析し、容積重は円筒を利用して測定し、土壌深50cmまでの炭素量を求めた。

2. 研究結果と考察

(1)水源涵養機能の評価

上層木の立木密度は表-5に示したように、広葉樹林が974本、混交林が950本、スギ林が1,450本で、混交林では樹冠がややあいていたため、立木本数に広葉樹林との差は見られなかったが、スギ林のようにスギの本数割合が多くなると立木密度も大きくなった。この各林分の樹高階別の分布を見ると、広葉樹林では樹高18m付近の上層に全立木が集中していたのに対し、スギ林では上層から下層まで立木が分布し、複層状態を形成しており、混交林でも上層には広葉樹とスギが分布し、下層にスギが分布するといった複層状態を形成していたのが特徴となっている。材積は広葉樹林が247立方、スギの割合4割の混交林では376立方、スギ林で758立方メートルと、スギの割合が増加するにつれて材積は多くなった。

表-5 上層木の概要

1. スギ区				
樹種	立木密度 (trees/ha)	樹高(m) Mean.	DBH(cm) Mean.	材積 (m ³ /ha)
スギ	1350	20.6	24.1	703
クリ	100	19.4	28.9	55
Total	1450			758

2. 混交区				
樹種	立木密度 (trees/ha)	樹高(m) Mean.	DBH(cm) Mean.	材積 (m ³ /ha)
スギ	375	19.9	24.8	195
クリ	325	18.9	23.2	123
コナラ	225	18.7	19.4	57
イソノキ	25	14.0	11.0	2
Total	950			376

3. 広葉樹区				
樹種	立木密度 (trees/ha)	樹高(m) Mean.	DBH(cm) Mean.	材積 (m ³ /ha)
スギ	26	12.0	18.5	4
クリ	447	17.2	21.5	133
コナラ	500	18.0	18.3	109
Total	974			247

図-4には角館町のスギ林、広葉樹林、混交林の3林分の土壤水分変動を測定した結果を示した。図の縦軸の数値が高くなるほど土壤は乾燥していることを示している。水柱圧の目盛りの100はpF2.0、目盛り500はpF2.7、目盛りの1,000はpF3.0に相当し、pF1.7以下の水は重力水、pF2.0~2.7までの水は植物に吸収利用される毛管重力水、pF2.7~4.0の水は土壤粒子の表面張力によって保持されている毛管水と区分されている。また、図-4の降水量は角館気象観測所の前回のpF測定日からpF測定日までの降水量を示している。平成9年は秋田地方では測定期間の降水量が1,500mm弱と小雨だったものの、春から冬にかけての各林分の土壤水分変化を見ると、6月および7月下旬~8月上旬に降水量の少ない時期があった。この降水量の少ない時期には土壤表層部ほどスギ林が最も乾きやすく、混交林と広葉樹林は乾きにくくなっていた。6月以前と10月以降の植物の生長が停止し、日本海側の特徴である冬に降水量が多い時期になると、全ての測定地点で土壤水分は湿った状態に変化した。前年に土壤深30cmにテンションメーターを設置し測定したデータも同様の結果が得られている(8)。

このように、スギ林の下層部で乾湿の変化が他の林分よりも大きいということから、スギ林では森林としての水分消費量が多いことが明らかとなった。従ってこの3つの林分の公益的機能を比較すると、洪水緩和機能が高いのはスギ林であり、逆に水保全という点で水源涵養機能が高いのは広葉樹林といえることができる。しかしながら、石井ら(9)が秋田県米代川流域においてダム流入量を調査し明らかにしたのと同様に、本調査地の混交林のように立木密度が低く森林蓄積も小さい状態ではスギの割合が多くても土壤の乾湿の変化は小さくなる。したがって、スギのように単位面積当たりの立木本数や林分材積が大きくなるような森林の洪水緩和機能は高いが、逆に広葉樹のように樹冠占有面積が大きく、単位面積当たりの本数や材積を稼げないような森林での水保全機能は低くなると言い換えることができる。

(2)炭素固定機能の評価

近年問題となっている地球温暖化に対して、森林は炭素の固定場所として期待されている。そこで、土壤調査と林分調査により炭素固定機能を比較する計算を行った。先の表-5に示したように材積は広葉樹林が247立方、スギ林で758立方メートルであり、この林分材積をもとに、樹種別の気乾時の比重、乾燥時の重量、および幹・枝・葉の割合については既存の文献のデータを利用し、総乾物量から炭素含有率を50%として簡単な森林の炭素固定量を計算すると、表-6に示したようにスギ林の方が落葉広葉樹林よりも地上部の炭素固定量は1.5倍と多くなる計算結果が得られた。土壤の部分ではA0層量は少ないので計算の対象から除外したが、土壤50cm深までの炭素量を全炭素分析と、採土円筒による容積重の測定により比較すると、差は小さいながらもスギ林の方が広葉樹林よりも多くなる結果となった。従って十分閉鎖したスギ林の方が広葉樹林よりも炭素固定能力が高くなる結果が得られた。なお、本調査地は土壤が黒ボク土壌だったために、一般に分布する褐色森林土よりは炭素量が多くなっており、褐色森林土の炭素量は200t/ha以下になるものと考えられる。また、先に述べた洪水緩和機能が高い森林は高蓄積の林分であるという点で、炭素固定機能とは一緒に目的が達成できることも判明した。

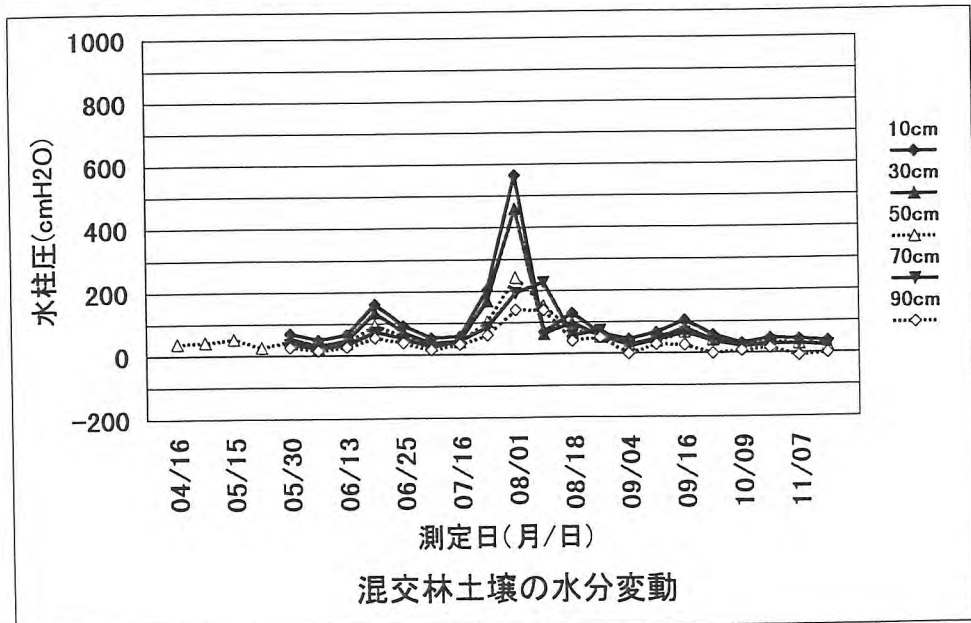
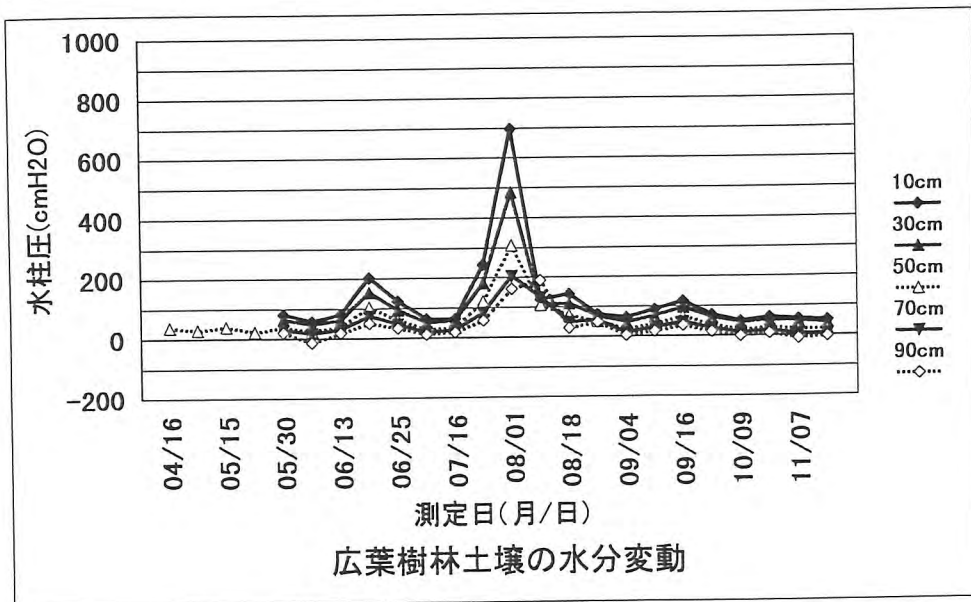
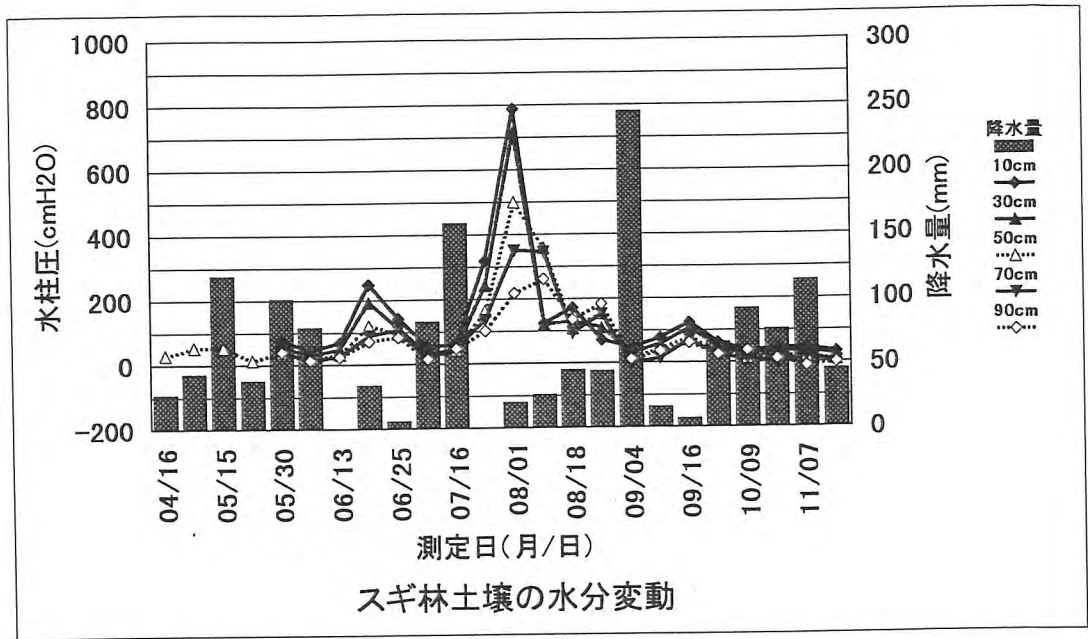


図-4 角館3林分の土壌水分変動

表-6 スギ林と落葉広葉樹林の炭素現存量

(1) 落葉広葉樹林

樹種	密度 (本/ha)	材積 (m ³ /ha)	幹気乾重 (t/ha)	幹 (t/ha)	葉 (t/ha)	枝 (t/ha)	総乾物量 (t/ha)	C (t/ha)
地上部	974	247	172.8	146.9	2.2	71.7	220.8	110.4
土壌								202.0
Total								312.4

(2) スギ林

樹種	密度 (本/ha)	材積 (m ³ /ha)	幹気乾重 (t/ha)	幹 (t/ha)	葉 (t/ha)	枝 (t/ha)	総乾物量 (t/ha)	C (t/ha)
地上部	1450	758	297.4	252.8	34.4	17.7	304.9	152.5
土壌								234.9
Total								387.3

(注) * 広葉樹林の幹、枝、葉の現存量は 66.6 : 32.5 : 1.0 の比で計算した (片桐ら, 1975)
 * スギ林の幹、枝、葉の現存量は 83.1 : 5.6 : 11.3 の比で計算した (四大学合同調査班, 1966)
 * 幹の気乾重の含水率は15%とする
 * 下層木、A0層の量は少なかったため省略した

IV. おわりに

今回は最近話題になっている森林の酸性雨問題、水保全機能、炭素固定機能について県内の林分を対象に測定を行った結果を報告した。森林の公益的機能に関しては、今後ともさらなるデータの積み重ねが必要であり、民有林だけでなく国有林も対象とした、秋田県全体のデータが必要になると思われる。今後とも、国有林の皆様には、当センターの業務へのご理解とご協力をお願いしたいと考えている。

引用文献

- (1) 佐々朋幸・高橋忠幸・長谷川浩一：特定樹種の樹幹流による土壌の酸性化抑制作用 (II)、日林誌、75、321~330、1993
- (2) 高橋忠幸：ヤマナラシの土壌酸性化抑制機能について (I)、日林論、105、413~414、1994
- (3) 塚原初男・保坂良悦・山崎加津子・上野清隆・佐藤八重治・阿部新一・上野齊：樹幹流の化学的特性に関する研究 (I)、日林論、105、407~410、1994
- (4) 澤田智志・加藤秀正：スギおよびヒノキ林の林齢と土壌中の塩基の蓄積との関係、土肥誌、62、49~58(1991)
- (5) 澤田智志・加藤秀正：スギおよびヒノキ林下の土壌における塩基の蓄積要因、土肥誌、64、296~302(1993)
- (6) 相澤州平：林齢の異なるスギ人工林における表層土壌の化学性、日林論、105、411~412、1994
- (7) 加藤秀正・白井昌洋：スギおよびヒノキ樹幹近傍土壌の酸性化、土肥誌、66、57~60(1995)
- (8) 澤田智志・石田秀雄：スギと落葉広葉樹の混交が林地の土壌水分に与える影響、日林論108、521~522、1997 (1)
- (9) 石井正典・室岡良伸：広葉樹から針葉樹林への林種転換が河川流量に及ぼす影響 (I) 秋田県内米代川水系小又川の森吉ダム流域について、日林論108、389~392、1997