

林情 技報

1989. 12 No. 16

道志水源林における保水機能の評価に関する一考察 (森林の取扱い経過の違いによる土壌保水力の変化について)	1
ヒノキ心持ち柱材の高周波減圧乾燥	13
木材炭化成分の多用途利用に関する研究(I) (マツクイムシ被害材の製炭試験)	23
木材炭化成分の多用途利用に関する研究(II) (木酢液の消臭効果に関する研究)	30

山梨県林業技術センター

山梨県中巨摩郡白根町上今諏訪 850
〒400-02 Tel (0552) 82-4210

道志水源林における保水機能の評価に関する一考察 — 森林の取扱い経過の違いによる土壌保水力の変化について —

菊 地 政 泰
大 輪 知 樹
(横浜市水源林事務所)

1 はじめに

近代式水道として、横浜の取水が開始されたのは明治20年10月である。明治23年横浜市に水道事業が移管されたあと市勢の急激な発展にともない第1回拡張工事を施行し、明治30年に取水口が相模川の支流である道志川（現在の鮎子取水堰）に移され、現在も日量17万2,800トンを取水している。当時、道志川流域の森林は乱伐等により荒廃し、水源かん養林として機能していなかった。

そこで、横浜市は大正5年、山梨県から道志村の恩賜県有林2,780ha（大正11年私有林61.98haを追加買収）を買収し、水源かん養林として秩序ある経営管理を開始したのである。

横浜市の水源かん養林は、山梨県の東南部に位置し神奈川に隣接し南都留郡道志村地籍に属する1団地8飛地からなり、東経約138°55'30"～139°6'30"の間約17km、北緯約35°26'45"～35°32'50"の間約11kmの道志川の本流を中心としてほぼ馬蹄形に主として中腹以上に分布している。道志川の流域面積14,108haの内上流部の7,960haは山梨県にあって、その約36%にあたる2,854.45haである。

森林は、人の手を加えなければ老齢化し、風倒木或は枯死等で疎開するために、秩序ある経営管理が不可欠なものである。このため横浜市は、大正8年に森林管理のための第1期施業計画（10年計画）をスタートさせ、現在（第8期）まで経営管理を施行し、2,854haの水源かん養林を39の区域に分割（林班）し、造林及び保育（下刈、除伐、間伐及び枝打）等の水源かん養林保全施業を行っているところである。

これまで、水源確保というとダム建設が中心であったが、最近では良好なダムサイドが不足する等の理由から「緑のダム」として森林のもつ水源かん養機能の効果が期待されている。それは、森林-土壌-水が有機的に結合して造りだされる水循環システムということができる。森林と水との関係は、人間生活に密着するものとして多に議論され研究されてきたものであり、古くは、明治中期の森林測候所の設置、また、最近にいたっては都市環境の保全とも関連した森林の多目的機能の一環としてもしばしば議論されているところである。そして、森林が水源かん養機能を有するものであることについては、定性的には一般的に認められているものの定量的評価となるとあいまいな面の多いことも事実である。

そこで、手始めとして、森林が過去からの取り扱いの経過の相違によって、土壌の保水機能にどの程度の差が表れるかを道志水源林の天然針葉樹林と人工林スギ、ヒノキとの違いを調査することとしたものである。

2 目 的

森林の水源かん養機能とは、端的にいえば降雨による雨水を土壌中にいったん蓄え、ゆっくりと流出さ

せることと言えるだろう。この場合土壌と水にかかわる土の類型区分が必要で、このため土壌と水の関係はどうか、どのような立地条件が最も水源かん養機能が高いか、また過去長年にわたる森林施業が、水源かん養機能にどうかかわるかなどについては、いまだ検討すべき課題が多い。そこでまず過去からの取り扱いの差が森林土壌の理学的性にどのように表れているか、150年～300年生のモミ、ツガ、40～80年生のミズナラなどの天然針広葉樹林と、スギ、ヒノキ人工林、あるいは採草地などとの違いを明らかにし森林の水源かん養機能解明のため土壌の類型区分の一資料を提供するものである。

3 調査の方法

調査の水源林の11林班・26林班（良い取扱い林分）9林班・27林班（比較的悪い取扱い林分）を選定しこの小流域について土壌断面調査を行うことにした。環境条件等の図面上の解析（平均傾斜、谷密度、起伏量など）については今後の経過も考慮して、1/5,000の基本図上に於ける2cmのメッシュ内の数値を計測した。

9林班の林況は林地63.11ha、除地14.44haの計77.55ha、林地は天然林が64.95ha、人工造林地51.38ha、除地の大部分は採草地で11.53ha、沢敷2.04ha、崩壊地0.84haである。採草地の80％は天然林の自然復旧林地でクヌギ、コナラ林が多い。

11林班は林地77.73ha、除地10.59haの計88.32ha、林地は天然林が64.95ha、人工造林地12.78ha、除地は崩壊地が6.88ha、沢敷3.71haである。天然林はモミ、ツガ、広葉樹の択伐用材林作業級に指定されている。

26林班は、林地46.18ha、除地3.97haの計50.15haで林地の内訳は天然林がすべてで、人工林はない。今後も伐採計画は全く無い保全地域であり、樹種は広葉樹が大部分でモミ、ツガが混交している。除地は沢敷が2.21ha、崩壊地が0.36ha、貸地1.40haである。

27林班は林地が63.79ha、除地7.94haの計71.73haである。林地の内、天然林が16.29ha、47.50haで、比較的若い造林地が多い。除地は沢敷が4.58ha、崩壊地が2.61ha、道路敷0.75haである。

この森林の取扱いが良いとする林班2、悪いとする林班2の計4林班について、調査を行う小流域とした。土壌断面調査は表層からA層（10cm～30cm）、B層（50cm～70cm）、C層（100cm～120cm）の3段階の土壌から400cc採土、円筒にて資料を採取した。

各林班から49ヶ所（9林班12ヶ所、11林班10ヶ所、26林班11ヶ所、27林班16ヶ所）について土壌断面を試掘したので、138個の資料を得ることができた。調査の際に山中式土壌硬度計による硬度も合わせて測定した。

この土壌の理学的性について透水性、最大含水量、最小含水量、最小容気量、孔隙組成を調査した。調査地域の地質は、いずれも基岩は、花崗岩地帯に属しているがその上に関東ローム層が比較的厚く堆積している。したがって、土壌断面の150cm～200cmぐらいまでは、ほとんどローム層しか出現しない。しかし沢筋は浸食されて、はっきりとした花崗岩類、あるいは、花崗岩マサ土からなっている。文献によればこの地域の関東ロームは、通常で5～6メートル最も厚い堆積地帯で、15メートル程度とされている。

4 調査場所の概要

調査は、道志川最上流の水源林26・27林班と支流の室久保川の9・11林班である。9林班は昔、広葉樹林として施業又採草地(11.53ha)であったところを、草を刈らなくなって、クヌギ、コナラに変わった林などで構成された林班である。27林班は、最も人工林率の高い、スギ、ヒノキの比較的若い造林地である。この9・27林班を「過去より比較的取扱いの悪い林地」としてとりあげることにした。

いっぽう、「過去より取扱い良好な林地」として、それぞれの隣合わせの林班11林班・26林班を選ぶことにした。いずれも、モミ、ツガ、ミズナラ、カエデ等天然広葉樹林であり、今後も伐採計画のない、保全地域に指定されている。

地質は、いずれの林班も基岩は花崗岩、石英閃緑岩地帯であるが、表層は、厚い関東ロームに覆われ、土壌調査で花崗岩が表れたのは、2〜3箇所にすぎずあとはすべて、関東ロームであった。河川や沢筋の中心部は花崗岩の露出部分もあり、浸透性の高い地質が出現していた。

道志村全体の位置、その中に占める横浜市水源林およびその地質、林班位置は図-1に示したとおりである。

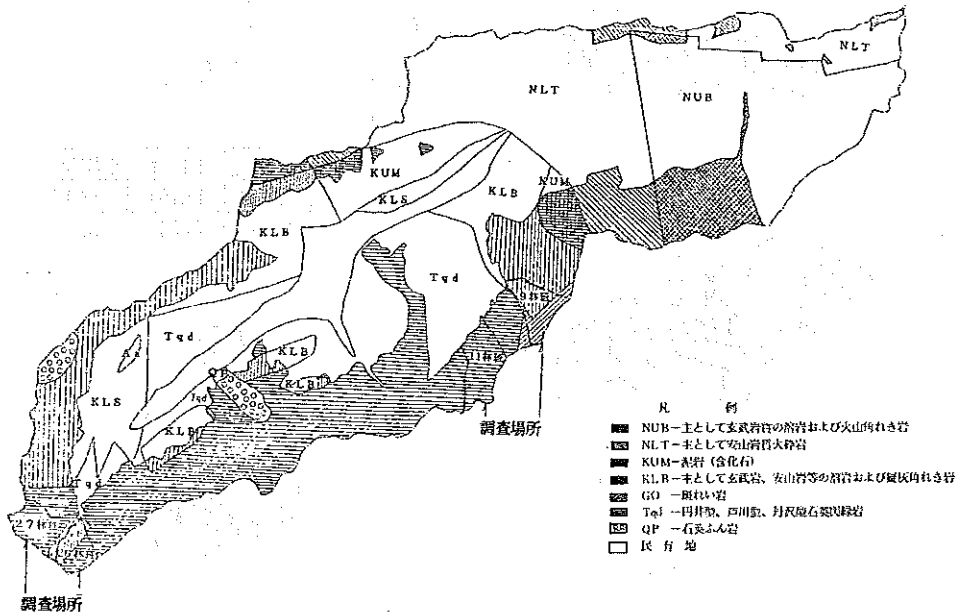


図-1 表層地質図

5 結果

1) 調査地の立地条件

まず、各々の調査地について、林況をあらわしたものが図-2である。9・27林班はⅡ〜Ⅹ令級までの

人工林が多い。土壌の採取はそのほとんどがいずれも人工林内であった。これに対し、11・26林班は一部人工林が含まれるもの、ほとんどが天然林で林相も安定した様子を示している。

次に、これらの林班内において、5,000/1 基本図上に於て、1 辺 2cm のメッシュを切り、その中の地形解析を行った。その結果が図-3 に示した通りである。

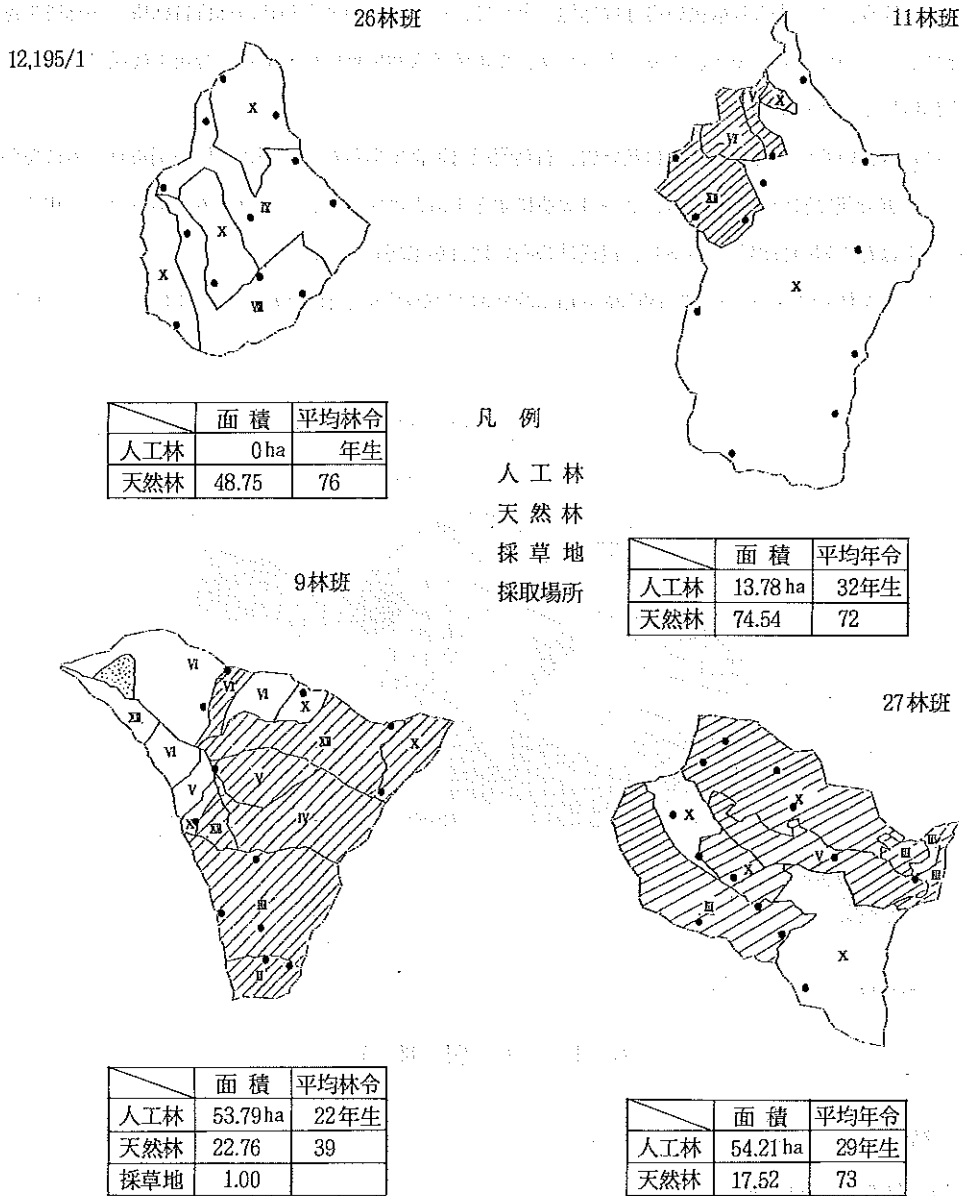


図-2 林相図

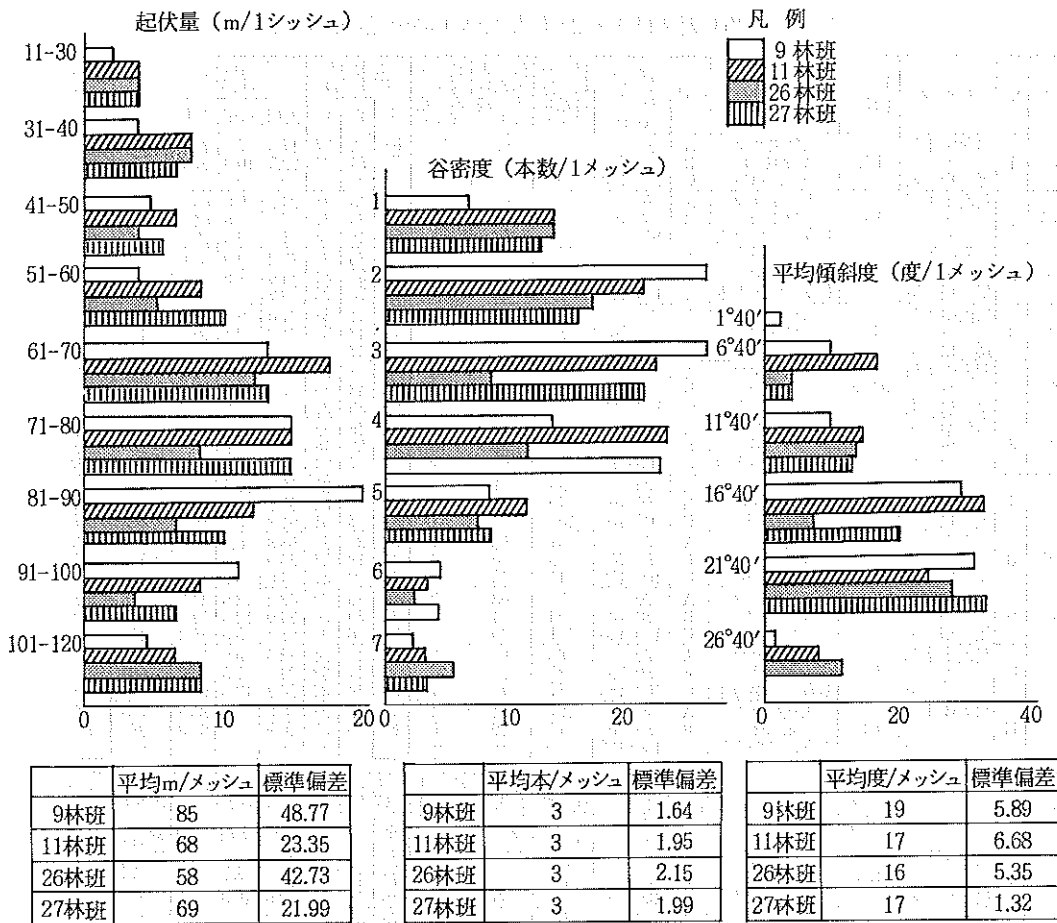


図-3 立地解析図

平均傾斜度は、メッシュ内にある等高線の数をかぞえて算出した。平均傾斜は16°~21°が最も多く、比較的急斜面が多い。

起伏量は、メッシュ内の「最大標高-最小標高」で算出した。最も多い起伏量の出現は81~90cmである。谷密度は2~3本が最も多い。

2) 土壌の理化学性

これらの、4林班内からそれぞれ層別に400ccの土壌円筒を採取し、室内でその理化学性について実験を行った。

その結果は表-1に示したとおりである。土壌の孔隙組成を知るには、孔隙解析のための一連の手順で求めることができる。

表-1 26(天然林)・27(人工林)の土壤の理化学性

林班	№	タイプ	主要土壌型	林層	層位	層位厚さ (cm)	自然状態容積量 (%)	最大容積 (%)	大気積 (%)	小気積 (%)	孔積量 (容積%)			三相組成 (容積%)			透水量 (cc/min)	透水係数 (c%/min)
											全	粗	細	固相	水相	気相		
26	1	斜面中上部 尾根型	BE	天然生ザツ (92)もみ つが点生	A	20	32	66	16	83	56	27	17.8	7.5	74.7	510	4.08	
					B	50-70	50	69	8	78	54	24	22.3	10.0	67.7	330	2.64	
					C	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2	斜面中上部 谷筋型	BE	天然生ザツ 43-200 もみ、つが点生	A	20	41	65	10	76	45	31	24.2	9.0	66.8	335	2.68	
					B	50-70	56	64	8	73	36	37	27.8	7.8	64.4	780	6.24	
					C	100-150	48	57	11	69	46	23	31.7	9.3	59.0	400	3.20	
26	3	斜面中上部 尾根型	BE	天然生ザツ 34-200 もみ、つが点生	A	20	49	65	5	71	36	35	29.2	9.0	61.8	380	3.04	
					B	50-70	60	58	7	66	32	34	34.6	7.8	57.6	305	2.44	
					C	100-150	79	56	4	61	35	26	39.9	7.5	57.6	250	2.00	
26	4	斜面中上部 尾根型	BD(d)	天然生ザツ 34-200 もみ、つが点生	A	20	37	71	8	79	41	38	21.0	9.8	69.2	580	4.64	
					B	50-70	61	61	17	79	48	31	21.2	9.3	69.5	470	3.76	
					C	100-150	46	66	8	75	42	33	25.9	10.5	63.6	380	3.04	
26	5	斜面中上部 尾根型	BD(d)	天然生ザツ 43-200 もみ、つが点生	A	20	39	61	16	78	43	35	22.2	6.3	71.5	450	3.60	
					B	50-70	37	60	12	73	43	30	27.3	8.8	63.9	530	4.24	
					C	100-150	43	58	9	68	36	32	32.3	7.8	59.9	420	3.36	
26	6	斜面中上部 尾根型	BD(d)	天然生ザツ 43-200 もみ、つが点生	A	20	42	68	9	78	46	32	22.6	9.3	68.1	265	2.12	
					B	50-70	43	59	10	70	52	18	30.8	10.8	58.4	285	2.28	
					C	100-150	33	63	9	31	7	24	69.7	10.8	19.5	315	2.52	
26	7	斜面中上部 尾根型	BD(d)	天然生ザツ (92)もみ つが点生	A	20	36	71	3	75	48	27	25.7	11.8	62.5	320	2.56	
					B	50-70	79	43	3	47	13	34	53.5	3.0	43.5	1,180	9.44	
					C	100-150	108	39	-1	39	8	31	61.2	2.5	36.3	465	3.72	
26	8	斜面中上部 尾根型	BE	天然生ザツ (92)もみ つが点生	A	20	37	53	11	65	39	26	53.8	8.3	55.9	960	7.68	
					B	50-70	95	40	4	45	18	27	55.9	4.0	40.1	1,200	9.60	
					C	100-150	111	48	-3	46	9	37	54.6	3.0	42.4	350	2.80	
26	9	斜面中上部 尾根型	BB	天然生ザツ (92)もみ つが点生	A	20	34	68	7	58	35	23	42.2	13.0	44.8	415	3.32	
					B	50-70	54	64	6	50	20	30.0	12.5	57.5	530	4.24		
					C	100-150	101	40	-2	39	8	31	61.6	3.0	35.4	450	3.60	
26	10	斜面中上部 谷頭型	BE	天然生ザツ 42-92 もみ、つが点生	A	20	66	67	0	67	43	24	33.0	9.0	58.0	265	2.12	
					B	50-70	33	55	20	76	44	32	24.7	7.3	68.0	560	4.48	
					C	100-150	37	78	1	80	48	32	20.3	13.5	66.2	40	0.32	
26	11	斜面中上部 尾根型	BE	天然生ザツ 42-92 もみ、つが点生	A	20	127	44	-4	40	12	28	60.4	4.8	35.2	280	2.24	
					B	50-70	77	59	0	60	25	35	40.9	7.8	51.3	365	2.92	
					C	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

林班	№	タイプ	主要土壌型	林層	層位	層位厚さ (cm)	自然状態容積量 (%)	最大容積 (%)	大気積 (%)	小気積 (%)	孔積量 (容積%)			三相組成 (容積%)			透水量 (cc/min)	透水係数 (c%/min)
											全	粗	細	固相	水相	気相		
27	1	斜面中上部 尾根型	BD	天然生ザツ (92) もみ、つが点生	A	20	43	64	14	79	47	32	21.8	7.0	71.2	690	5.52	
					B	50-70	42	67	10	78	48	30	22.6	9.5	67.9	510	4.08	
					C	100-150	41	66	11	78	48	30	22.6	10.3	67.1	260	2.08	
27	2	斜面中上部 尾根型	BD	ヒノキ(11)	A	20	35	65	13	79	55	24	21.9	9.8	68.3	460	3.68	
					B	50-70	34	60	14	75	52	23	25.8	10.8	63.4	390	3.12	
					C	100-150	48	62	6	69	54	15	31.6	13.3	55.1	265	2.12	
27	3	斜面中上部 尾根型	BB	ヒノキ(10)	A	20	18	71	6	81	48	33	19.7	8.5	71.8	630	5.04	
					B	50-70	44	73	4	80	51	29	20.8	12.5	66.7	395	3.16	
					C	100-150	28	65	7	73	52	21	27.4	8.8	63.8	350	2.80	
27	4	斜面中上部 尾根型	BD	天然生ザツ 48-200 もみ、つが点生	A	20	33	71	6	78	42	36	22.2	9.3	68.5	325	2.60	
					B	50-70	40	73	4	78	41	37	22.5	11.0	66.5	205	1.64	
					C	100-150	61	65	7	73	49	24	27.7	10.5	61.8	285	2.28	
27	5	斜面中上部 尾根型	BD	スギ(60)	A	20	39	72	7	80	42	38	20.5	9.5	70.0	440	3.52	
					B	50-70	39	72	8	81	54	27	19.9	11.5	68.6	270	2.16	
					C	100-150	23	55	20	76	49	27	24.5	8.8	66.7	400	3.20	
27	6	斜面中上部 尾根型	BD(w)	スギ(60)	A	20	16	88	-1	87	64	23	13.0	14.0	73.0	490	3.92	
					B	50-70	38	72	5	78	48	30	22.9	12.8	64.3	215	1.72	
					C	100-150	49	56	17	74	56	18	26.0	10.8	63.2	290	2.32	
27	7	斜面中上部 谷筋型	BD(w)	スギ(60)	A	20	59	66	1	68	28	40	32.1	8.8	59.0	410	3.28	
					B	50-70	57	57	10	68	45	23	32.1	7.3	60.6	360	3.04	
					C	100-150	56	44	19	64	33	31	36.3	4.5	59.2	640	5.12	
27	8	斜面中上部 谷筋型	BD(w)	ヒノキ(13)	A	20	68	57	5	63	29	34	37.1	7.0	55.9	385	3.08	
					B	50-70	69	49	9	59	31	28	41.7	5.5	52.8	290	2.32	
					C	100-150	80	43	8	52	23	29	48.8	4.5	46.7	480	3.84	
27	9	斜面中上部 尾根型	BC	ヒノキ(21)	A	20	34	52	28	81	59	22	19.6	5.5	74.9	525	4.20	
					B	50-70	40	65	10	76	48	28	24.8	9.0	66.2	510	4.08	
					C	100-150	50	51	12	64	47	17	36.5	10.0	53.5	330	2.64	
27	10	斜面中上部 尾根型	BC	天然生ザツ 48-200 もみ、つが点生	A	20	38	70	6	77	53	24	23.6	11.3	65.1	280	2.24	
					B	50-70	26	78	5	84	59	25	16.8	14.5	68.7	300	2.40	
					C	100-150	33	68	10	79	57	22	21.2	13.0	65.8	330	2.64	
27	11	斜面中上部 尾根型	BB	ヒノキ(62)	A	20	36	74	5	80	49	31	20.5	10.5	69.0	325	2.60	
					B	50-70	33	73	7	81	56	25	19.4	12.3	68.3	310	2.48	
					C	100-150	42	67	10	78	52	26	22.2	19.3	58.5	250	2.00	
27	12	斜面中上部 尾根型	BC	ヒノキ(62)	A	20	39	68	13	81	57	24	19.0	10.5	70.5	400	3.20	
					B	50-70	38	64	15	80	56	24	20.2	10.3	69.5	410	3.28	
					C	100-150	42	60	11	72	53	19	28.1	12.5	59.4	350	2.80	

一定容積の採土円筒（森林土壌の場合は、面積 10cm^2 深さ 4cm の 400cc 円筒が一般に用いられる。）で、自然状態の土壌をそのままの状態で採取して実験室に持ち帰り、その採土円筒試料の下端を十分水に浸して毛管上昇によって吸水させる。このときの水分量を最大含水量、その時土壌中に残る空気量を最小容気量と呼んでいる。毛管上昇によって十分水を吸収させた採土円筒試料から、PF1.8、PF2.7相当の吸引圧で水を引っ張り出して、その都度円筒の重量を測定しておき、固体部分（細土、礫、根）の重量を差し引けば非毛管孔隙、毛管孔隙、粗大孔隙、細孔隙などを求めることが出来る。採土円筒試料の細土直径 2mm 以下の粒子、礫（直径 2mm 以上の石礫）根のそれぞれの容積を定められた方法、手順で計量するとこの三者の容積の合計が固相部分の容積になる。採土円筒の容積から固相部分の容積を差し引いたものが全孔隙量になる。

PF2.7の吸引圧で水を引っ張りだして試料中に残った水の量が細孔隙量に相当し、全孔隙量から細孔隙量を差し引けば粗孔隙量が計算できる。PF2.7を境にして、全孔隙量を細、粗に区分することは土壌中の水が毛管運動するか、しないかの区分点であるから、土壌中の水の動きを考えるうえで、非常に重要なポイントで、水源かん養機能の評価の上でも有効である。このPF2.7区分点の吸引する方法として、採土円筒試料を素焼吸収板の上ののせてPF2.7までの水を引き出す簡伸法があり、これを用いて実験を行った。

9.11林班についても同様の調査結果があるが、枚数の関係で数値は省略した。考察のところでもグラフで示すことにした。その結果は表-1に示したとおりである。

6 考 察

森林の保水機能の評価を決定する大きな要因として、土壌の性質が最も重要な役割をはたすことになるだろうことは、これまでしばしば、指摘されてきた。それは、土壌がとりもなおさず、降雨水をうけとめて保水し、徐々に流出させる緩衝作用をもつと考えられるからである。

そこで、これらの土壌の性質が、森林の取扱いの違いによって、どのような変化をしているかを見るために、孔隙量その他の理学的の結果を分析してみよう。

1) 土壌の孔隙量と透水性

まず、粗孔隙量と透水係数の関係について、林分別に、又、A層、B層、C層別に示せば図-4のようである。

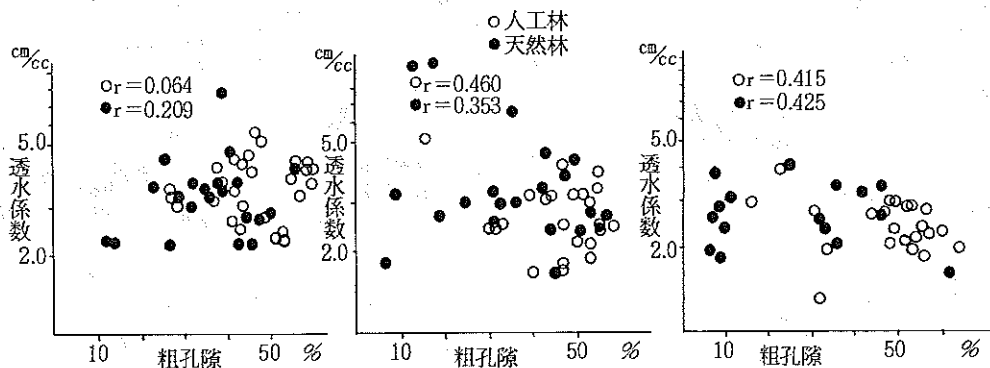


図-4 粗孔隙量と透水係数

この図から判断すると、良い取扱いの森林(●印今後天然林におきかえる)の方が悪い取扱いとした森林(○印以後人工林と呼ぶ)よりも、粗孔隙量が少ない値を示している。とりわけ、A層にはっきりとその傾向が読み取ることができる。透水係数は、●印すなわち天然林の方が良い。さらに同様に細孔隙量と透水係数の関係をやはり、天然林、人工林別のA、B、C層別にプロットしたものが図-5に示したものである。

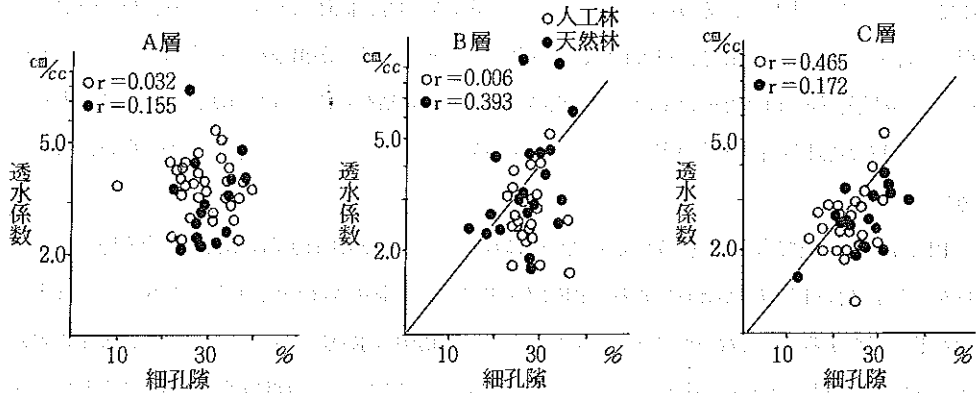


図-5 細孔隙量と透水係数

この細孔隙量では粗孔隙量ほどの端的な差は見られないが、とりわけB層で、天然林の透水係数が高く、林分の良い堆積層の厚いほど林地の保水性の良いことが裏付けられている。これを、全孔隙量と透水係数について林分別、層別に示したものが図-6までで、ここでも同様に、A層、B層、C層ともに、人工林の方が孔隙量は大きい。透水性はバラツキは大きいものの、天然林の方が、高い値が大きい。しかも透水係数と孔隙量の間には、相関係数はそれほど高くない。このことは、何を表しているか、次のようなことが考えられる。

この土壌母材は、基岩に花崗岩を持ち、表層に関東ロームを持った土で構成されている。したがって長く人工林であった土壌では、表層のローム層は流亡して、孔隙量が多くなっている。それに比べて、天然林は林相が安定しているため、土壌の土粒子の流亡も少なく、粗孔隙量が少なかったものと推察される。実際、土壌調査の最中見うけられたことは、天然林の土壌は構造がぼう潤で、団粒状構造が良く発達していたものに比べ、人工林は堅密度が高く、堅果状構造の土壌が見られた事からもうかがい知ることが出来る。

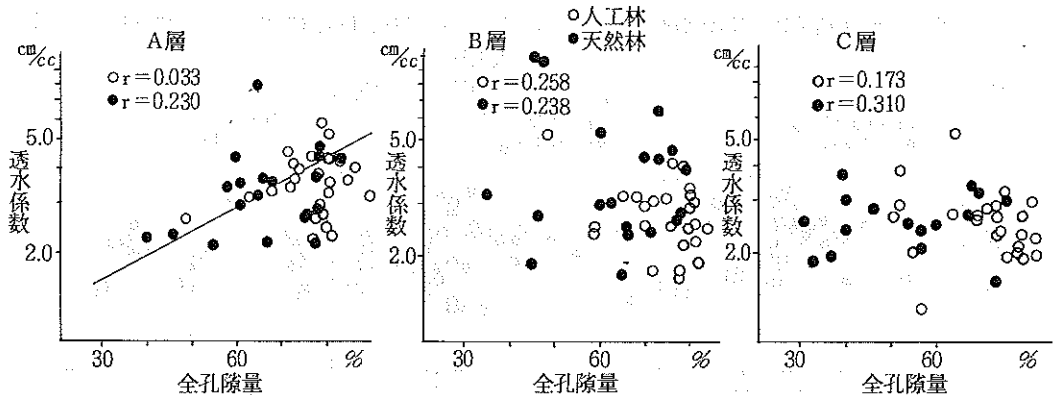


図-6 全孔隙量と透水係数

さらに、粗孔隙量と細孔隙量について、天然林、人工林別、さらにこれを層別に表せば、図-7のようになる。いずれもある相関係数は $r=0.504$ 以下と負の相関は認められている。天然林は落葉し、A層が厚く発達しているために、雨滴浸食をうけないで、表層土の流亡が防げたものと考えられる。これに比べて人工林はA層が少なく、雨滴浸食をうけたためであろう。

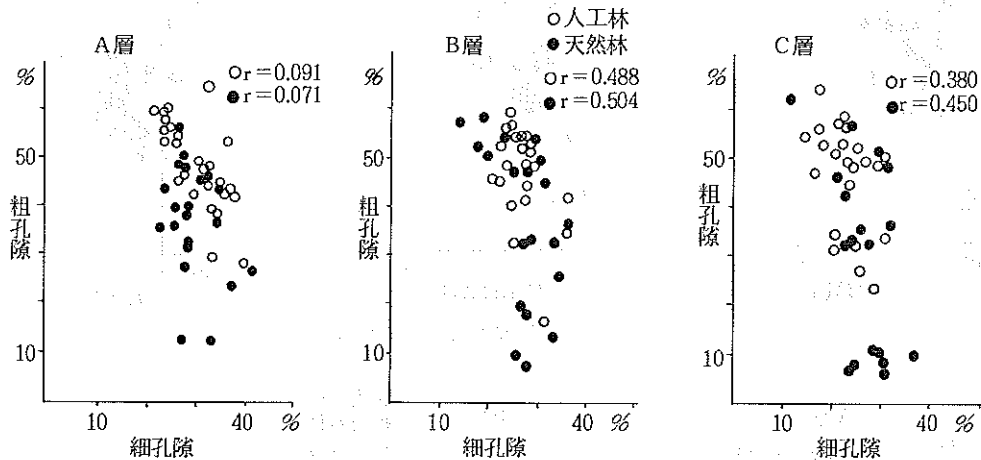


図-7 細孔隙量と粗孔隙量

2) 最大容水量、最小容気量と透水係数

最大容水量とは、自然状態の土壤を攪乱せずそのままの状態で採取して実験室に持ち帰り、その採土円筒試料の下端を水に漬けて一昼夜、毛管上昇によって十分に吸水させたときの水分量を求めたものが最大容水量、そのときの土壤に残る空気量が最小容気量であることは先に述べた。この最小容気量と透水係数との関係をA層、B層、C層別に表したものが図-8である。

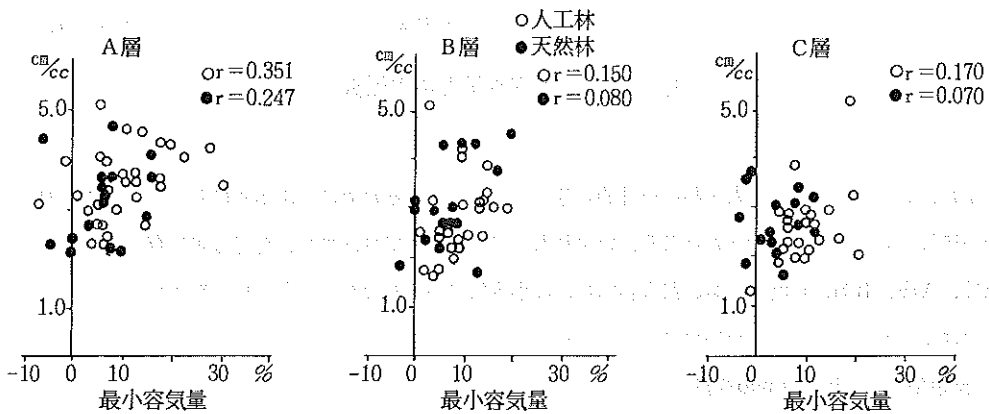


図-8 最小容気量と透水係数

またさらに最小容気量と透水量、最大容水量と透水係数についても、人工林、天然林別、さらに層別に示したのが図-9、図-10である。

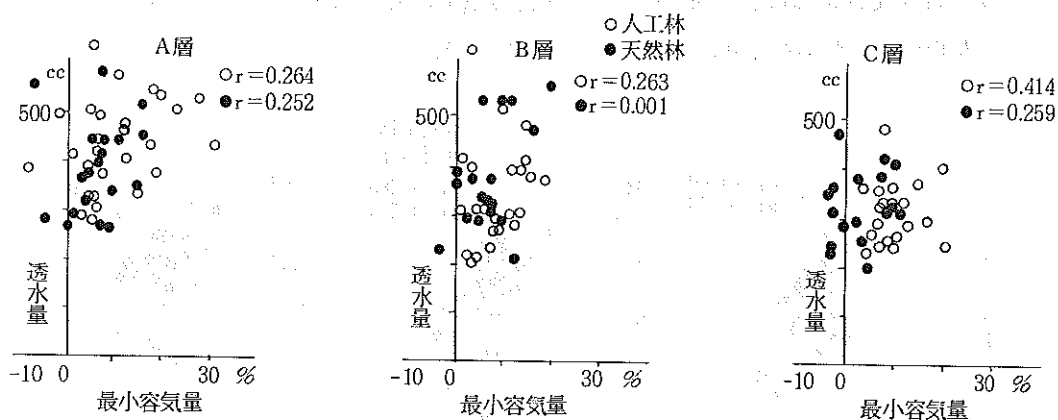


図-9 最小容気量と透水量

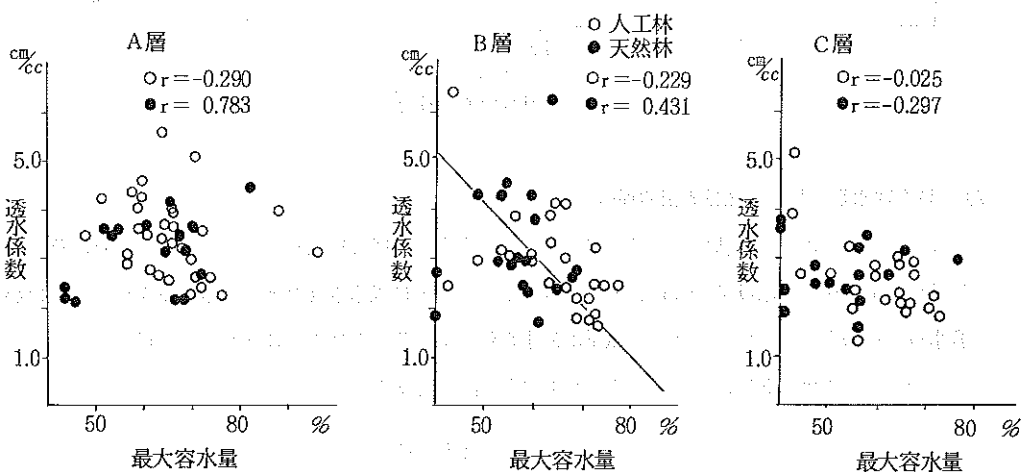


図-10 最大容水量と透水係数

また、これらの天然林、人工林の統計的有意性はどうかを見るために、母集団に差がないとする $H=0$ の帰無仮説で、F検定を行ったところ、いずれも1%の有意性で棄却され、有意な差は有りとされた。これは、A層、B層、C層間でも、最大容水量、最小容気量いずれの有意性も同様で有意な差は認められた。F値は150～300の値のためいずれも省略する。

3) 土壌型別、孔隙量ほかの検討

調査の時点で土壌断面図の作成と土壌型の判別、さらに既応の土壌図を参考にしながら、たとえば27林班を示す図-11の通り土壌図を作成した。

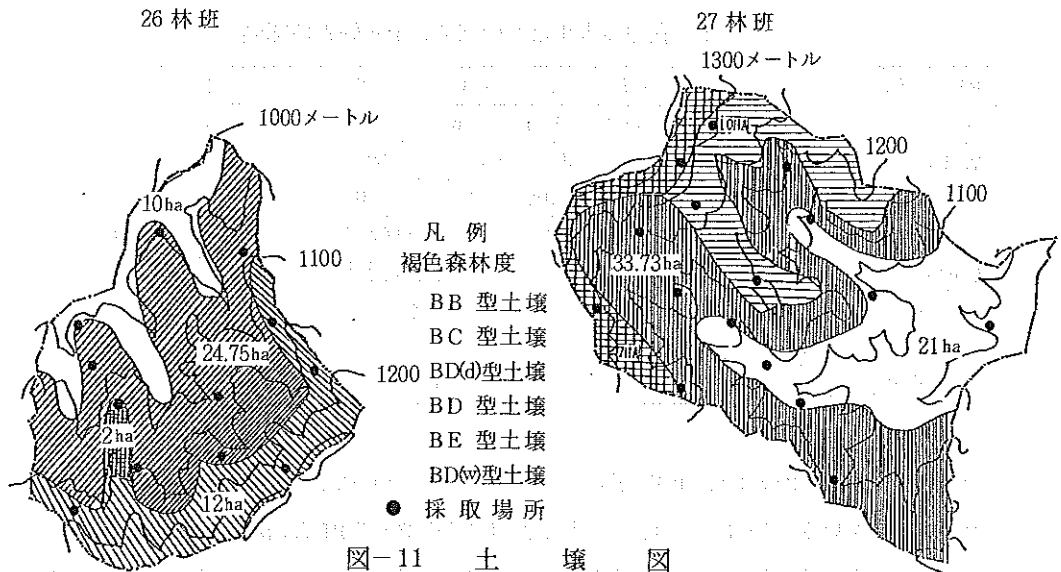


図-11 土 壤 図

また、この土壤型と孔隙量、透水係数などについて、その関連を検討した。まず、土壤タイプを森林褐色度壤の中でも尾根型、乾燥型のBB、BC、谷筋、湿潤型のBD(w)、BE型の2タイプに区分し、この土壤型タイプの透水係数をA、B、C層別に図に示したのが図-12である。

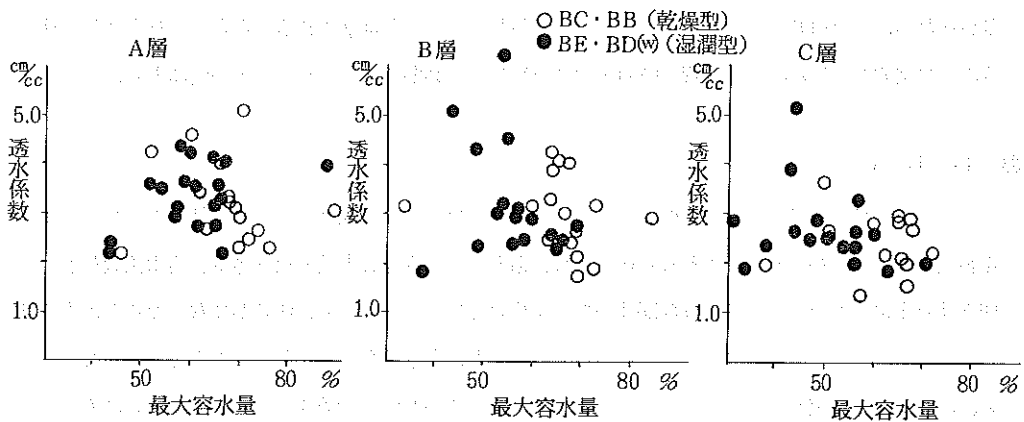


図-12 土壤別透水係数と最大含水量

バラツキは大きいものの、A層では湿潤型の土壤型の方が透水係数が高い傾向にある。これがB層になるとさらにこの傾向は強まり、最大含水量は、乾燥型に多い。湿潤型タイプは、天然林に多く出現し、乾燥型タイプは人工林に多く出現したのを考えると、これも林地の保水性を表しているものと思われる。

孔隙組成その他から、林地の水源かん養機能を評価する際に、どんな孔隙組成の森林土壤が機能が高いか、これまでの研究成果からはどうであろうか、まずは水が流動し、あるいは貯留される場として、出来るだけ多くの空間がある方が望ましいから、一定容積の土壤に占める全孔隙量は多い方が良いとされている。

表-2 孔隙の大小と水の状態、PF 値との関係

PF 値	∞	0	0.2	0.5	1.6	1.8	2.7	4.0	7.0
ハール	0	0.001	0.002	0.004	0.04	0.06	0.5	15	
水柱高[m]	0	1	1.6	3.5	40	63	500	15.848	
孔隙径[μ m]	∞	3.0	1.9	0.9	0.08	0.05	0.006	0.0002	
水分恒数		最小容気量		圃場含水量		毛管移動停止点		永久しおれ点絶乾	
水の状態		動力水 (非毛管水)			毛管移動水		毛管非移動水	吸 湿 水	
(真下氏)		粗 孔 隙			粗 孔 隙		細 孔 隙		
(竹下氏)		大 孔 隙	粗 大 孔 隙	粗 孔 隙		細 孔 隙			
孔隙区分		非 毛 管 孔 隙			毛 管 孔 隙				

(有光)

有光一登¹⁾は表-2の通り、土壌の孔隙の大小と水の状態について、またPF値と孔隙組成について、整理して示している。これによれば、また水資源として利用されるPF2.7相当以上の当量の毛管、あるいは非毛管孔隙を動く水であるから、全孔隙の中でPF2.7を境にした粗孔隙量が多いことが望ましい。さらにこの粗孔隙量の中でもPF1.8～PF2.7相当の毛管孔隙が多い方が、水源かん養機能は高い。粗孔隙量が多くてもその大部分が非毛管孔隙で占められていては速い中間流出、動水として短時間に土壌から流出してしまう。これでは降雨が多いときには、一時に水が河川に流出してしまう。人工林の粗孔隙量が多かったのはこの粗孔隙のうちに含まれる粗大孔隙が多いためと推察される。さらにこれを詳しく検討するには水文的な流量観測、非毛管孔隙の粗大孔隙量を測る必要があるこれは今後の問題としたい。

おわりに

これまで森林の取扱いの良好な林分として天然林を、良好でない森林として人工林をとりあげ、水源かん養機能の評価にかかわるとされる透水係数、あるいは透水量と土壌の粗孔隙量、透水係数など土壌の理学的な変化について、どのような関連があるか検討してきた。そして、明らかになったことは人工林の方が粗孔隙が多いという結果は、多少意外にも思えたが、動水移動にかかわる粗大孔隙も含まれることから、むしろ正確な実験データと云えると思う。今後はこのPF1.8の水を取りだして、さらに検討することによって、土壌と水とのかかわりの中での水源かん養機能は非常に問題であるので、これらの評価のために、さらに資料を積み重ねることが出来ればと思っている。

結論としては、天然林の土壌は、A層の働きから良好に保持され、A層ばかりでなく、B層、C層にまで降雨水が充分浸透し森林の持つ保水機能は充分発揮されている。これに比べ人工林は、中間流出などもあって雨の流出が早いか、土壌がレキ質になっている。保水機能は天然林より劣るものと見られる。

参 考 文 献

- 1) 有光一登編、森林土壌の保水のしくみ、創文1987

ヒノキ心持ち柱材の高周波減圧乾燥

藤 本 登 留
渡 辺 利 一
名 取 潤

はじめに

近年家具部材、建築用造作材ばかりでなく、建築構造部材においても狂い、割れ、変色、腐れ等の欠点ができない乾燥による高付加価値化技術が求められるようになってきた。そのなかでも役物の柱材については、どの程度まで、どの様に乾燥すれば狂い割れが出ずに安定した品質が得られるのかということが、木造住宅の質の向上に欠くことはできない問題となっている。特に天然乾燥では防ぐことが困難な心持ち柱材の割れない乾燥方法の開発が、各地域で使用されている樹種を対象に全国で行われているところであるが、当センターにおいても山梨県で役物柱材として最も使用されているヒノキの心持ち柱材の割れない乾燥方法の検討を行った。今回はその一方法として、これまで家具部材用の広葉樹板材及び化粧単板等の乾燥で主に利用されてきた高周波減圧乾燥装置を用いて試験を行った。

試験方法

1 供試材

山梨県峡南地区で生産されたヒノキ10.5cm角長さ3mの心持ち柱材(特等)54本を、供試材とした。このうち、半数に当たる27本は背割り材で、残りの半数は背割りしない材である。

2 乾燥方法

(1) 乾燥装置

K.K.小山田木鋼所(山梨県富士吉田市)に設置されている富士電波工機製の高周波減圧乾燥機を使用した。同乾燥機の概要は次の通りである。

1) 高周波発振機

型式	FDY-1521V型	
電源部	全負荷入力	25kVA
	入力電圧	220V
	相数周波数	3φ50/60Hz
	直流出力	25kW
	直流出力電圧	①6kV ②8kV ③10kV
	直流出力電流	2.5A max
	整流方式	3相全波整流

発振部 高周波出力 15 kW max
 発振周波数 6.5 MHz
 発振方式 陽極同調自励振発振

2) 真空乾燥

型式 SBK-1640型
 本体 缶 体 円筒型
 缶体寸法 1,600φ × 4,000 L mm
 最大容積 2.7 m³ (10石)
 缶体保温 グラスウール保温、垂鉛鋼板張り
 電極 電極寸法 1,100w × 4,000 L 5枚
 油圧発生装置
 モーター 3φ 4極 2.2 kW
 ユニポンプ UPV-16N2-2.7A-4-10
 吐出圧力 120kg/cm MAX
 吐出量 20ℓ/min

(2) 供試材、含水率試験材の積層方法

供試材にNoを記し、図-1に示す通りに横方向に9本並べ、電極板を挟んで6段重ねとした。このうち中央、左右、上中下に位置する斜線部の材から、図-2の通り含水率試験材(長さ60cm)、全乾試験片(長さ2cm)、水分分布測定用試験片(長さ2cm)を採取し、各種含水率調査用に供した。なお、含水率試験材の木口はエポキシ樹脂でシールした。

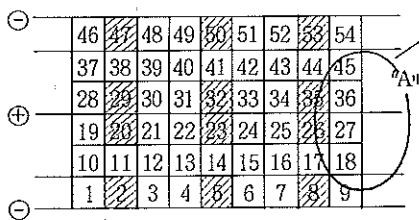


図-1 供試材の積層方法

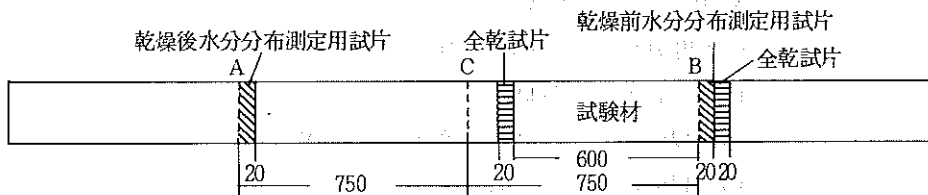
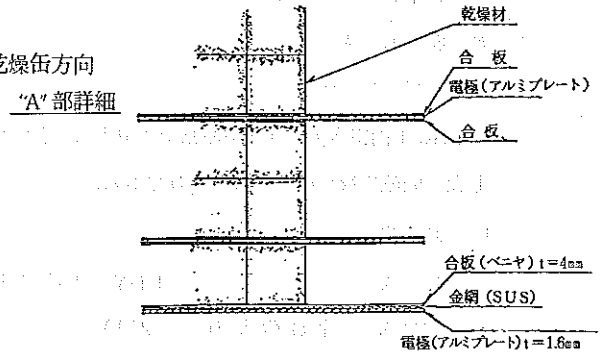


図-2 含水率測定試験材および水分分布測定用試片の採取方法 (寸法単位: mm)

(3) 乾燥条件と乾燥方法

乾燥条件の概要は以下の通りである。

直流出力電圧 10kv (初期6、8kv)
 品温設定値 39℃ (この値を越えると発振時間でも発振を停止する。)
 真空度 48torr
 発振間隔 発振6分 (間欠運転の場合)
 停止3分

乾燥操作および乾燥経過の概略を表-1に示した。

表-1 乾燥経過および乾燥操作の概要

3月22日						3月23日					
時間	材温	陽極電流	電極電圧	積算電力計	備考	時間	材温	陽極電流	電極電圧	積算電力計	備考
10:12	4.5	1.0	55	37.5	乾燥開始	7:57	36.2	0.9	75		
10:22	4.8	1.0	50			10:28	36.7	0.9	82		
10:55	5.5	1.0	50		真空度が設定値(48 Torr)になる。	10:30					24時間後の試験材の含水率測定のため運転を中止して常圧に戻し始める。
11:12	6.0	1.0	50			10:45					乾燥缶のドアを開け、試験材を取り出し測定開始。
11:42	6.8	1.0	50		高周波発振を間欠から連続運転にする。	10:55					測定終了後ドアを閉め減圧開始。続いて回収された水分量の測定実施。
12:50	10.0	1.2	50			13:41	37.2	0.9	96	304.2	
13:08	11.0				出力電圧を6KV から8KV に切り替える。	14:00					記録計修理のため発振停止。
13:20	11.2				出力電圧を8KV から10KV に切り替える。	15:00					発振再開。
13:28				65.5	陽極電流の制御を0.9 ~ 1.2 に設定。	17:00	38.5	0.9	100	348.0	
13:45	12.3	1.0	58	69.1		3月24日					
14:20	14.5	1.05	58	77.6		時間	材温	陽極電流	電極電圧	積算電力計	備考
14:45	16.5	1.1	58	86.5		8:00	39.0	0.9	190	460.0	
15:45	21.1	1.1	58	102.0		10:47	39.1	0.9	217	480.7	
16:45	28.0	1.2	58	117.0		10:51					24時間後の試験材の含水率測定のため運転を中止して常圧に戻し始める。
17:00					高周波発振を連続から間欠に切り替える。	10:57					乾燥缶のドアを開け、試験材を取り出し測定開始含水率が十分下がっていたので乾燥を終了した。

(4) 含水率および割れ、変形等の測定方法

1) 含水率の測定

乾燥段階での含水率は、図-1の12本について図-2に示す様に含水率測定試験材を採取し、重量測定による含水率の変化を調べた。また、断面の水分分布を測定するために、これと同じ材から図-2の通り試験片を採取した。その断面の切断方法は、図-3の通りである。

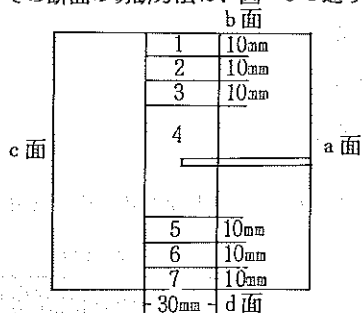
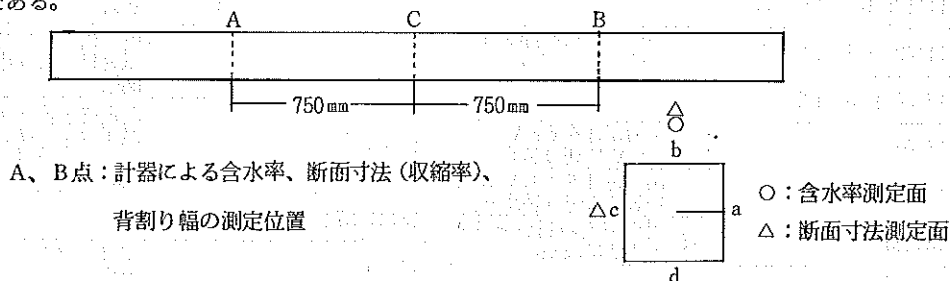


図-3 水分分布測定の切断方法

さらに、この12本を除いた42本の柱材について、高周波含水率計2機種(商品名:デルター5、モコ)で乾燥前後の含水率を測定した。その測定位置は、図-4に示す通り、b面のA点、B点の2点である。



A、B点:計器による含水率、断面寸法(収縮率)、
背割り幅の測定位置

○:含水率測定面
△:断面寸法測定面

図-4 含水率、収縮率、背割り幅の測定位置

2) 割れ、変形等の測定

割れは、乾燥の前後に木口割れ、材面割れに分けてJASに従い測定した。

背割り幅、断面寸法は図-4のA点、B点の位置で測定した。なお断面寸法については、b面・c面の2面の幅を測定した。寸法測定に用いた測定器具は、1/20mm精度のノギスである。

曲がりには、4材面の最大中央矢高を測定した。

(5) 消費電力の測定

入力電力を積算電力計で測定し、乾燥に要した消費電力を求めた。

(6) 乾燥により回収された水分量と精油量の測定

1日毎の回収された水分量を、20リットル入りポリ容器に入れ測定した。ここで、水分は乾燥缶の底に溜った水分と、減圧された空気中から回収された水分に分けて計った。

回収された水分から分液ロートを使い、精油分を分離しメスシリンダーでその量を測定した。

試験結果および考察

1 含 水 率

乾燥直前から乾燥開始後24時間後及び48時間後における試験材の含水率の変化を重量測定により求めた。その結果を表-2に示す。

表-2 含水率試験片の重量測定による含水率経過

	初期含水率 (%)	24時間後含水率 (%)	48時間後含水率 (%)
平 均	33.0	23.2	13.2
標 準 偏 差	2.9	1.8	2.5
最 大 値	37.3	25.9	16.1
最 小 値	28.7	19.8	8.6
供 試 数	12	12	12

乾燥前の含水率33.0%から24時間後に23.3%、48時間後に13.2%と、ほぼ一定した含水率の低下が見られた。これは蒸気乾燥や他の乾燥方法に比べ極めて早い乾燥速度であり、およそ1/5～1/10の乾燥時間で目標含水率に達したことになる。なお、乾燥途中の重量測定は乾燥を一時中断して乾燥缶から取り出して測定した。測定時間は10分～20分であったが、所定の気圧に減圧するに要する時間が約1時間かかった。

高周波含水率計2機種(商品名:モコ、デルタ)で、3m柱材の全数42本について、乾燥前後の含水率を測定した。その結果を表-3に示す。2機種の測定値とも重量による測定値に比べ、乾燥前は大きな値を示し、乾燥後は小さな値を示した。また、ばらつきも大きく、この数値の取り扱いには重量測定による含水率とは違い、表層部分での含水率であることを理解して、特に心持ち柱材等の測定では考慮する必要がある。

表-3 高周波減圧乾燥による含水率変化
(測定計器:モコ、デルタ)

測定計器	乾燥の前後	背割りの有無	平均(%)	標準偏差(%)	最大値(%)	最小値(%)	測定本数(本)
モ	乾燥前	有	41.3	8.2	56.7	25.5	21
		無	39.4	8.0	65.5	23.0	21
コ	乾燥後	有	10.0	3.9	19.4	5.6	21
		無	8.6	3.6	18.3	5.1	21
デルタ	乾燥前	有	35.6	8.1	58.5	23.0	21
		無	35.2	10.5	66.5	20.5	21
	乾燥後	有	5.8	2.9	12.5	2.0	21
		無	3.9	3.1	13.0	1.0	21

含水率試験材を取った12本中6本について、断面の水分分布測定を行った。その結果を、図-5に示す。柱材の表層部が、20~30%、中層部が30~37%であったのが、それぞれ6~16%、8~19%の分布になった。乾燥後の含水率むらも一部見られるが、短時間の乾燥の割にはほぼ均質な含水率仕上がり状態であった。

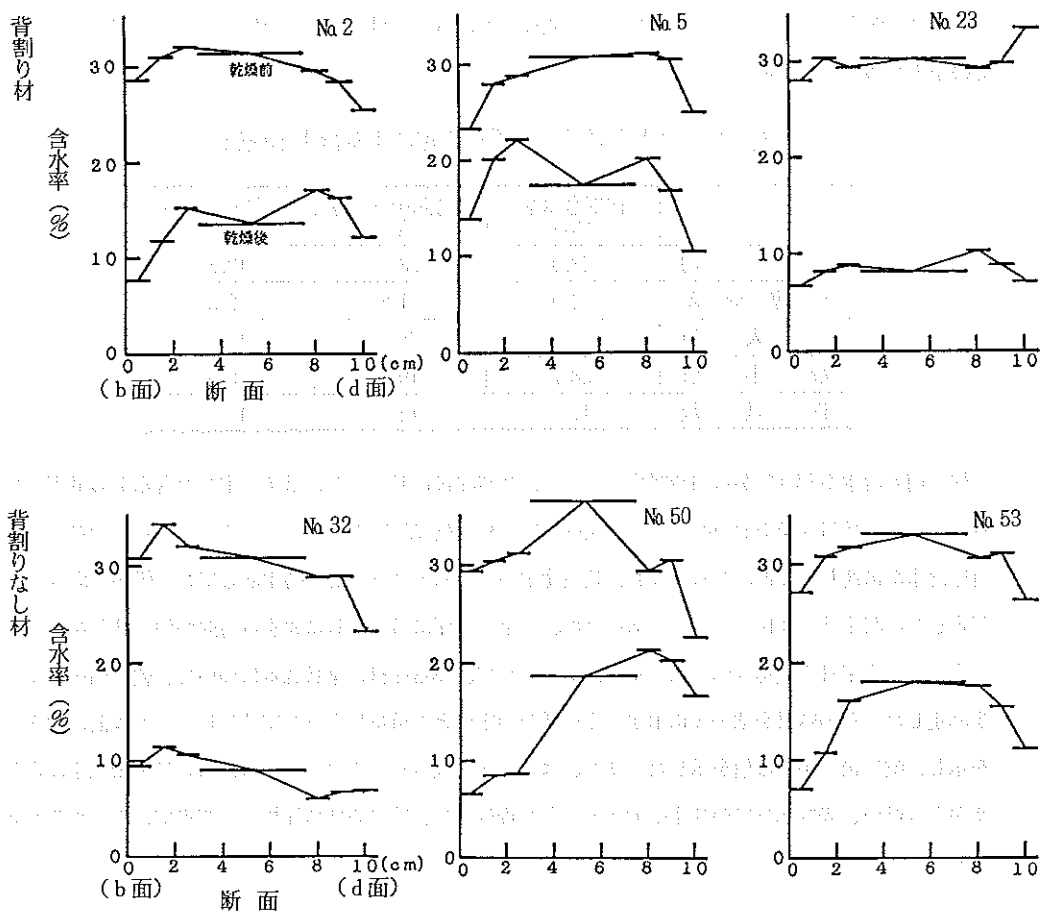


図-5 高周波減圧乾燥による心持ち柱材の含水率分布の変化

3m柱材42本について、乾燥前後の割れを測定して、JASに従い等級付けした。その結果を表-4に示す。背割りなし材では21本中16本あった特等材がなくなり、18本が等外になった。特に木口割れがその等級落ちの要因となっていることが分かる。背割り材では、21本中20本あった特等材が17本に減少した。これは、表-5に示す天然乾燥による割れの出現に比べて少ないものであった。

表-4 割れの等級別出現頻度

	背割り材 (21本)						背割りなし材 (21本)					
	乾燥前			乾燥後			乾燥前			乾燥後		
	木口割れ	材面割れ	計	木口割れ	材面割れ	計	木口割れ	材面割れ	計	木口割れ	材面割れ	計
特等	20	21	20	17	19	17	16	20	16	1	5	0
1等	0	0	0	1	1	1	2	1	2	2	4	2
2等	1	0	1	2	1	2	2	0	2	1	11	1
等外	0	0	0	1	0	1	1	0	1	17		18

表-5 天然乾燥における割れ等級別出現頻度(本数)

経過	木口割れ					材面割れ				
	製材後	2ヶ月	4ヶ月	6ヶ月	8ヶ月	製材後	2ヶ月	4ヶ月	6ヶ月	8ヶ月
特等	27	11	9	8	8	27	27	27	27	27
1等	0	10	12	12	11	0	0	0	0	0
2等	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0
等外	0	2	2	3	4	0	0	0	0	0

注：昭和60年度山梨県林業技術センター事業報告より抜粋

乾燥による断面寸法変化の測定結果を表-6に示す。

b面、c面共にその収縮率の平均は3%強で、重量による含水率変化である33%から13.2%まで1%あたり収縮率は平均約0.15%であった。背割り幅の測定結果を表-7に示す。

表-6 高周波減圧乾燥による収縮率(%)

	b面	c面
平均	3.1	3.3
標準偏差	1.1	0.7
最大値	6.0	5.2
最小値	0.3	1.7
本数	42本	42本

表-7 高周波減圧乾燥による背割り幅の変化(mm)

	乾燥前	乾燥後
平均	2.8	8.3
標準偏差	0.3	1.7
最大値	3.5	12.7
最小値	2.4	5.9
本数	21本	21本

鋸幅と考えられる乾燥前の背割り幅が平均2.8mmであった。その後、乾燥により平均で8.3mmに大きく開いた。今回は、含水率を必要以上に落としたため、20%前後での背割りの開きが不明であるが、再現性のあるものであれば、一部の地域で行われているように乾燥状態を判断する指標として考えられ、今後検討していく必要がある。

乾燥前後の曲がりの変化を表-8に、等級付けした結果を表-9に示す。

表-8 高周波減圧乾燥による柱材の曲がりの変化
(矢高: mm)

	背 割 り 材		背 割 り な し	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平 均	2.1	4.6	1.8	4.8
標 準 偏 差	1.1	2.5	0.9	2.6
最 大 値	5.0	11.0	4.0	10.0
最 小 値	1.0	1.5	0.5	2.0
本 数	21本	21本	21本	21本

表-9 曲がりの等級別出現頻度(本)

	背 割 り 材		背 割 り な し	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
特 等	21	14	21	18
2 等	0	7	0	3
等 外	0	0	0	0
計	21	21	21	21

等級では、特等から2等に落ちた材は、背割り材が7本、背割りなし材が3本であったが、曲がりの最大矢高の平均では、背割りの有無による違いはあまり無いことが分かる。

3 消費電力料

積算電力計で記録された電力量は、443.5kwhであった。そこで、今回㎡当たりの乾燥に必要な電気料金を計算すると、以下の通りである。

基本料金	$28 \text{kw} \times 1,020 \text{円/kw} + 30 \text{日} \times 2 \text{日}$	1,904円	} ①
使用電気料金	$443.5 \text{kwh} \times 10.82 \text{円/kwh}$	$\approx 4,799 \text{円}$	
乾燥柱材体積	$10.5 \times 10.5 \times 3 \text{m} \times 54 \text{本}$	$\approx 1,786 \text{m}^3$	②
㎡あたり電気料金	①/②	$\approx 3,753 \text{円}$	

(注) なお、この単価は平成1年4月現在のものである。

この数値を用いて、今回の手法によるおおよその乾燥コストを試算した。その結果を表-10に示す。

表-10 乾燥コスト試算

10.5 cm 角 ヒノキ 柱材の乾燥	
処理量	1.786 m ³ × 300日 ÷ 2日 = 267.9 m ³ /年
電力費	3,753円/m ³ × 267.9 m ³ = 1,005,429円/年
真空管	175,000円/年 ÷ 267.9 m ³ /年 = 654円/m ³ 175,000円/年
ポンプ油 冷却水 整備費等	200,000円/年 ÷ 267.9 m ³ /年 = 747円/m ³ 200,000円/年
人件費	1,451,250円/年 ÷ 267.9 m ³ /年 = 5,417円/m ³ (2+8) × 2人 × 300日 / 2 + (1+8) × 300日 = 112.5人 112.5人/年 × 12,900円/人 = 1,451,250円/年
設備費	2,975,000円/年 ÷ 267.9 m ³ /年 = 11,105円/m ³ 23,800,000円 ÷ 8年 = 2,975,000円/年
計	21,676円/m ³ 5,806,679円/年

実用的には、柱材で13.2%までの乾燥は必要ないと考えられる。建築部材の含水率実態調査では20~25%前後の乾燥材が出回っていること、乾燥材のJAS試案が、20及び25%もあることなどから、実験で得られた乾燥開始後24時間後の含水率20~25%程度の乾燥を行うとすれば、事業ベースの乾燥経費は次のようになる。

表-11 ヒノキ柱材の乾燥経費の試算

		A	B
年乾燥量 (m ³)		2.3814 m ³ × (300日 / 1.2日) = 595.35 m ³	2.7 m ³ × (300日 / 1.2日) = 675.00 m ³
乾燥 経 費	電力量(基本料金)	1,020円/kw × 28KW × 12ヵ月 = 342,720円	1,020円/kw × 28KW × 12ヵ月 = 342,720円
	電力量(使用料金)	2,756円 × 595.35 m ³ = 1,640,785円	2,756円 × 675 m ³ = 1,860,300円
	真空管	175,000円	175,000円
	ポンプ他	200,000円	200,000円
	人件費	5h/8h × 250日 × 12,900円 = 2,015,625円	6h/8h × 250日 × 12,900円 = 2,418,750円
設備費	2,975,000円 (40.5%)	2,975,000円 (37.3%)	
計		7,349,130円	7,971,770円
円/m ³		12,345円	11,810円

1 サイクル処理量を (A) : 柱材72本 (10.5 cm · 10.5 cm · 3 m) = 2.3814 m³

(B) : 最大容積での乾燥 2.7 m³

しかし、これも蒸気乾燥、除湿乾燥法に比べて乾燥経費は高く、さらにコストダウンが可能か研究する必要がある。乾燥終了直後における柱材の材温は材面のみでなく中心部まで38℃前後に高められており、室内に積み直すことにより、さらに乾燥を進めることが可能であることから、含水率低下に対する乾燥コストは、さらに低減されるものと考えられる。また、表から明らかな様に、この方法による乾燥コストの40%前後は設備費が占めていることから、設備費が軽減できれば容易に乾燥コストの低減も可能であろう。この様に高周波減圧乾燥は、他の乾燥方法に比べ乾燥経費がやや高い状況にあるが、一面ヒノキなど材内水分移動の良好な樹種では、柱材など断面の比較的大きい製材品に対して1サイクル24時間という他の

乾燥方法では不可能な短時間で実用性のある乾燥ができることは、ユーザーの要求に対応しやすい小回りのきく乾燥法であり、この方法を効率的に利用していくことは、企業的に見ても有力な武器となろう。

4 乾燥により回収された水分量と精油量

乾燥により1日毎に回収された水分量、およびこれから回収された精油成分の量は、表-12の通りである。

表-12 高周波減圧乾燥により回収された水分量および精油量

		水分量	精油量
乾燥缶内からの回収	1日目	95.0 ℓ	500 cc
	2日目	73.5 ℓ	
減圧空気からの回収	1日目	17.0 ℓ	1,750 cc
	2日目	15.0 ℓ	
計		200.5 ℓ	2,250 cc

含水率の低下から考えた蒸散水分量を計算すると

$$(33.0\% - 13.2\%) \times 100 \times 0.105 \text{ m} \times 0.105 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 54 \text{ 本} \times 0.40 \text{ t/m}^3 \times 1,000 \Rightarrow 141 \text{ ℓ}$$

この結果、乾燥により蒸散した水分の殆どが回収されているものと思われた。

また、得られた精油成分は、高周波減圧乾燥の副産物として乾燥経費に還元されることが考えられ、成分分析を実施しその有用性を調べているところである。

おわりに

今回の試験の結果、ヒノキ柱材の高周波減圧乾燥は割れを中心とした欠点の発生があまり見られないことが分かった。柱材を乾燥する場合どの程度まで乾燥すればいいかという問題はありますが、設備費が高額なことを除くと人工乾燥の中でもそれほど高い経費ではなく、低温で色が変わらない、短時間で乾燥可能、人手がかからない等のメリットが考えられることから、柱材の乾燥としても十分魅力ある乾燥法であると思われる。

現在この様な建築用材の乾燥は、業界の中ではその必要性が叫ばれているものの、これら乾燥経費の上乗せはユーザーにとってかなりの負担に感じられると思われる。一生に一度程しか家を建てない末端ユーザーに対して、その必要性を認識してもらうための説得には、相当困難を伴うものであると思われる。しかし、正しい木材の使い方、良さを出すためには用途に適合した木材の乾燥は絶対必要であり、これらの乾燥材をユーザーの要望に応じて品質の安定した材をいかに安く提供するかが、今後木材需要の拡大を図る上で大きな課題であるといえる。

今後、心持ち柱材の有力な乾燥法と考えられる高周波減圧乾燥法について、本実験をもとにさらにローコストで実用性の高い乾燥法の研究を進めていきたいと考えている。

最後に、今回の試験に快く協力していただいた小山田木鋼所並びに東京電力、富士電波工機の方々に厚く御礼を申し上げる次第である。

木材炭化成分の多用途利用に関する研究(I) マツクイムシ被害材の製炭試験

名 取 潤
藤 本 登 留
水 上 篤 篤
小 林 茂 樹

1 はじめに

本県のマツクイムシ被害量は、昭和63年度資料で約17,769㎡発生しており、昨年度からやや落ち着いている。これらの被害材は伐倒駆除処理後、林内に放置されることが多く、資源の有効利用する一法として製炭が考えられる。

そこで本試験は、マツクイムシ被害材を在来型黒炭窯で製炭した場合の収炭率、木酢液の収量などについて検討した。

2 試験方法

(1) マツクイムシ被害材の品質調査

被害材の腐朽の程度、虫害の状態、寸法、材積、含水率等、また収炭率を求めるため重量を測定した。

(2) 製炭試験

製炭試験はバラツキを考慮して、同様な製炭操作を3回くり返す方法で行った。製炭試験を行った炭窯は、図-1に示すような形状の在来型の炭窯である。製炭にあたっては、製炭操作、製炭温度などを記録するとともに木酢液の採取も行い、その収量を調べた。



図-1 在来型黒炭窯の型状

a 製炭操作

製炭操作は、窯の温度、煙の色などによって通風口、煙突口の操作をした。その時の時刻、温度、煙色などを記録した。

b 製炭時間

製炭時間は次のように区分して測定した。

加熱時間：点火から自然炭化が起るまでの時間

炭化時間：自然炭化が起ってから、精練までの時間

精練時間：精練を行っている時間

c 温度の測定

窯内中央上部の温度、煙突口温度、外気温を昼間のみ、2～3時間おきに熱電対温度計で測定した。

d 木酢液の採取

木酢液の採取は、径200mm、長さ12mのステンレス製冷却筒を13°の勾配で炭窯煙突口の上部に取り付けた専用の採取装置により採取した。

(3) 木炭の収量、炭質評価、木酢液の分析

木炭の収量を次式より算出した収炭率により評価した。

$$\text{収炭率}(\%) = \frac{\text{木炭の重量}}{\text{立て木炭材の重量} + \text{上げ木炭材の重量}} \times 100$$

また炭質の評価は国立林試式の精練計を用いて、精練度を求めて行った。また採取した木酢液については、次の項目について簡単に調べた。

- a 色 b PH (PHメーターによる) c 比重 (ボーム比重計による) d 酸度 (滴定による)

3 結果及び考察

(1) マックイムシ被害材の品質

被害材の品質については、腐朽、虫害の程度を肉眼的に見て、4段階にランク付けして評価し、その結果を表-1に示した。腐朽、虫害が無いものと軽微なものが大部分で、青変菌による変色、樹皮部の虫孔は認められるが、収炭率を低下させるような低質なものは見られなかった。

表-1 マックイムシ被害材の肉眼的品質評価

腐朽又は虫害の程度	腐 朽	虫 害
1. 無 い も の	67 %	67 %
2. 軽 微 な も の	31 %	32 %
3. 中 程 度 な も の	2 %	1 %
4. 著 しい も の	0 %	0 %

(2) 製炭試験

今回はほぼ同様な製炭試験を3回くりかえした。表-2にその製炭操作を、また図-2～図-4に炭化温度の経過を示した。操作は着火後、小型送風機で送風しながら上部燃材投入口より燃料を補給して窯の加熱を行い、煙突口温度が70℃～80℃の安定した温度になり、白煙をいきおい良くあげるようになった時点で上部燃材投入口を閉める。次に少しずつ時間をおいて下部通風口、煙突口をせばめて行き、最終的

には煙突口を2分の1にしぼり、通風口を5cm×5cm程度にしぼり込んで炭化を行う。その後窯内の温度、煙突口の温度、煙の色を見ながら炭化を継続し、煙突口の温度が安定しているようにする。やがて、煙の色が青煙に変化して来るようになり、煙突口温度、窯内上部の温度が上昇してくるようになる。青煙が非常に少なくなった時点で精錬操作に移る。精錬操作は、通風口、煙突口、上部燃材投入口を30分くらいの時間をかけ徐々に開き、窯内温度700℃～800℃になった時点ですべての口を密閉して終了する。

表-2 製炭操作表

累計 時間	第1回製炭試験			第2回製炭試験			第3回製炭試験		
	窯内 温度	煙温 突口度	操 作	窯内 温度	煙温 突口度	操 作	窯内 温度	煙温 突口度	操 作
0	7℃	5℃	着火	6.2℃	9.4℃	着火	6.8℃	5.6℃	着火
0.5	160	23		75	6.9	燃材補給	168	20.4	燃材補給
1.0	213	51	燃料補給	123	8.2		331	69.4	
1.5	245	63		143	15.0	燃材補給	311	72.0	
2.0	—	—		156	18.4	燃材補給	272	71.0	下口 $\frac{1}{2}$ にしぼる 燃材補給
2.5	376	79	煙突口温度が一定になる。	176	45		—	—	
3.0	449	79	燃材補給、上口閉 煙突 $\frac{1}{2}$ にしぼる。	181.5	55.2	燃材補給、上口閉	340	78.1	上口閉、下口5cm ×7cmにしぼる
4.0	396	79	下口 $\frac{1}{3}$ にしぼる8cm× 9cm 下口しぼる5cm ×5cm	201	70		302	77.1	煙突を $\frac{1}{2}$ にしぼる
5.0	317	80		219	74.1	下口 $\frac{1}{2}$ にしぼる 煙突 $\frac{1}{2}$ にしぼる	340	77.6	
6.0	300	77	煙突 $\frac{1}{2}$ にしぼる	209	76.4	下口しぼる 6cm×8cm	385	78.6	
7.0	281	76		197	73.5	下口しぼる 3cm×7cm	—	—	
23.0	328	77		195	59.1	下口 $\frac{1}{2}$ に開 燃材補給	358	82.5	
25.0	320	76		256	65.1		352	80.5	
27.0	321	74.5		325	67.0	下口しぼる 3cm×7cm	346	79.2	
29.0	322	75.1		261	71.0	下口 $\frac{1}{2}$ に開、煙突口 温度が一定になる	356	79.6	
31.0	318	75.1		285	70.5	下口しぼる 3cm×7cm	383	81.5	
47.0	334	79.7		301	79.0		364	105	
49.0	328	79.5		296	75.5		356	112	
51.0	325	80.0		295	72.0		394	152	
53.0	333	82		292	70.3		394	151.7	
55.0	350	87		—	—		386	159.7	

累計時間	第1回製炭試験			第2回製炭試験			第3回製炭試験		
	窯内温度	煙突口温度	操 作	窯内温度	煙突口温度	操 作	窯内温度	煙突口温度	操 作
71	339	123		310	75.8		320	132.4	
72	338	125		-	-		313	135.2	
73	335	126.5		315	72.6		315	140.2	精練を開始
74	335	128.6		-	-		642	254	精練終了 窯を閉じる
75	330	134.8		308	74.0				
77	339	162.1		303	71.7				
79	357	173.4		316	71.1				
95	403	233	精練を開始	282	73.3				
96	790	337	精練終了 窯を閉じる	275	55.3				
99	401	130		290	67.9				
101	345	120		323	91.6				
103				344	104.3				
120				366	218	精練を開始			
121				710	307				
121.5				736	329	精練終了 窯を閉じる			

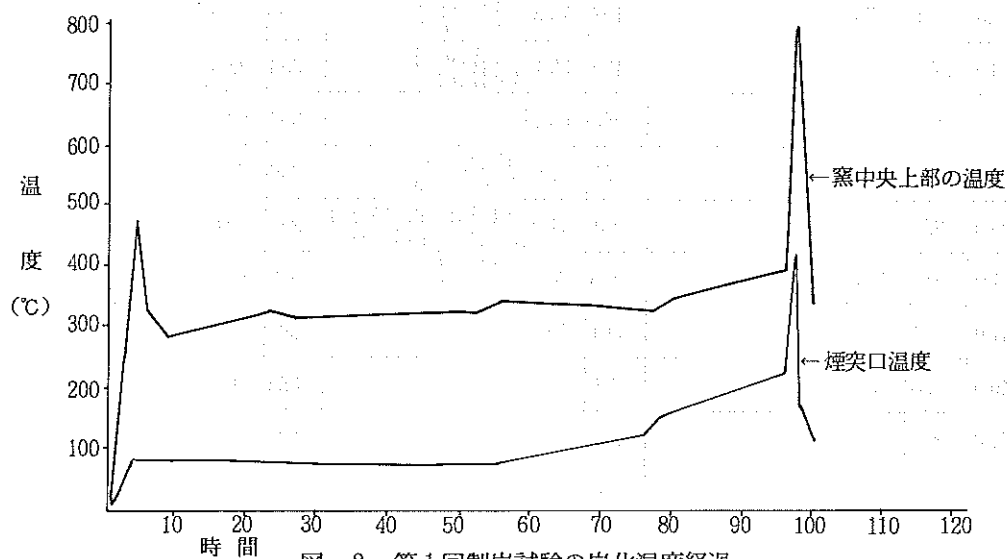


図-2 第1回製炭試験の炭化温度経過

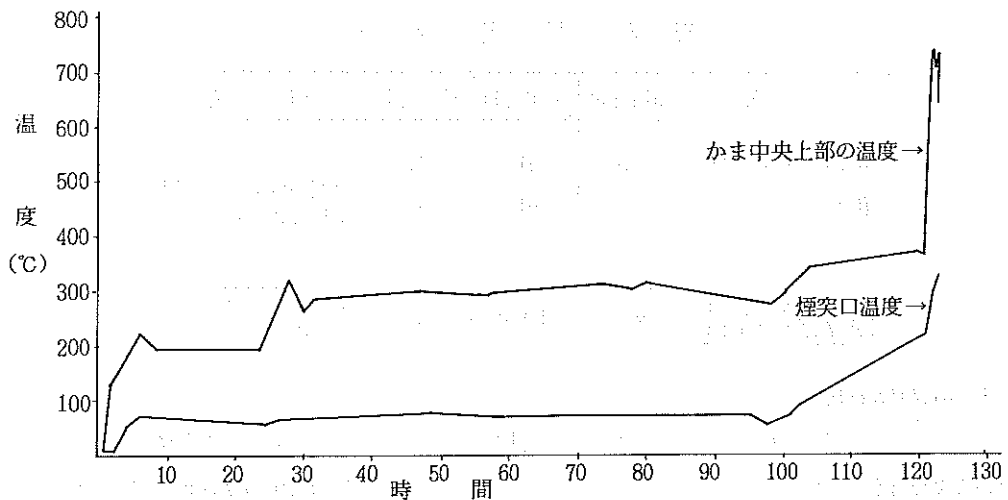


図-3 第2回製炭試験の炭化温度経過

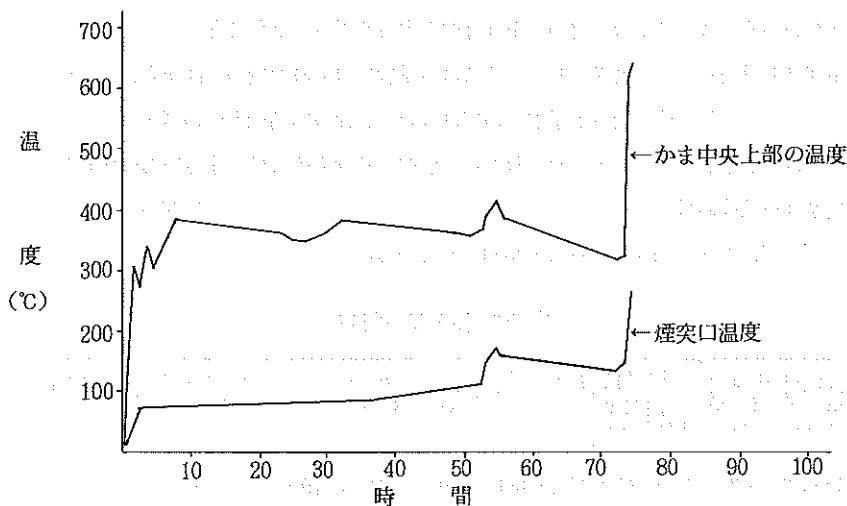


図-4 第3回製炭試験の炭化温度経過

表-3に製炭時間を示した。第1回製炭試験はほぼこのような操作手順で行うことができた。第2回製炭試験は通風口を絞った後に温度が下がって来て、自然炭化に至らなかったので次の日に再度加熱操作を行った。このため表-3にみるように、加熱時間が長くなっている。しかしその後はスムーズの炭化が行われた。第3回製炭試験は、図-4に見るように300℃～400℃の比較的高い温度で炭化が進行したが、その後温度の低下傾向が見られたので炭化時間70時間という比較の短い炭化時間で精煉操作に移ってしまった。そのため、窯下部に未炭化部分が生じてしまい、後述するように収炭率の低下につながった。この窯で製炭を行った場合、90時間程度の炭化時間が必要のように思われた。

また精煉時間は1時間から1時間半かかった。これらの製炭操作を表-3の国立林試で行われた広葉樹材の製炭試験と比較すると、加熱時間が著しく短い。また精煉操作も10時間以上かけて行っている。

表-3 製炭時間

回次	加熱時間	炭化時間	精練時間	備考
第1回製炭試験	4.0	91.0	1.0	温度が低下し、下口をしばらくなおす
第2回 "	29.0	91.0	1.5	
第3回 "	3.0	70.0	1.0	
国立林試の製炭試験の参考例	39.0	119.0	11.0	第4号窯、第5回目の試験値

(3) 木炭の収量及び炭質

表-4に木炭の収量を示した。今回使用した窯は炭材を3.7㎡つめることができ、木炭収量で360kgあまりの製炭を行うことができることが明らかになった。第3回製炭試験は未炭化部分が出たので除外して見ると、マツクイムシ被害材は、平均含水率が50~70%くらいの品質のもので、製炭した場合、19~20%の収炭率であることがわかる。また1㎡の炭材から100kg弱の木炭を得ることができる。

また表-5に精練計で計測した精練度を示した。これは各試験で得られた炭の一部から、100個の炭片を採取して計測したもので、窯全体の炭質を示すものではないが、比較的精練温度の高かった第1回製炭試験では、精練度の数値が小さいものが見られた。一般的に精練度の数値の小さいものが良質の炭とされている。黒炭窯は精練度の数値のバラツキが白炭窯に比べて大きく、窯内の上層部の木炭は精練度の数値が小さいが、下層部は大きい傾向になることが知られている。

表-4 木炭及び木酢液の収量

回次	供試材重(kg)	供試材積(㎡)	供試材含水率(%)			木炭収量(kg)	木酢液量(ℓ)	収炭率(%)	炭材1㎡当りの木炭収量(kg)	炭材1㎡当りの木酢液収量(ℓ)
			平均	標準偏差	範囲					
第1回製炭試験	1,862.2	3.70	52.6	37.2	19.4~184.2	369.5	212	19.8	99.8	57.3
第2回製炭試験	1,835.1	3.70	73.4	38.4	21.1~155.9	361.2	261	19.7	97.6	70.5
第3回製炭試験	1,947.1	3.54	52.4	19.5	21.1~111.4	324.9	319	16.7	91.8	90.1
平均	1,881.4	3.65	-	-	-	351.9	264	18.7	96.4	72.6

表-5 木炭の精練度の分布(%)

精練度	第1回製炭試験	第2回製炭試験	第3回製炭試験
0 ~ 2.9	25	8	30
3.0 ~ 4.9	35	8	6
5.0 ~ 6.9	7	13	11
7.0 ~ 8.9	15	25	20
9.0 ~ ∞	8	46	33

(4) 木酢液の収量及び品質

木酢液の収量は表-4に示したように、1回当たり200ℓから300ℓ採取できた。炭材1㎡当りにすると60ℓ弱から90ℓになる。おそらく製炭時の風の状態などによっても変わるであろう。表-6に第1回製炭試験で得た木酢液の簡単な性状分析を示した。一般に報告されているものよりやや有機酸の含有量が低いようである。

表-6 木酢液の分析結果

PH	比 重	有 機 酸 (CH ₃ COOHとして)	臭 気	色 調
2.55	1.015	2.96%	燻 臭	淡 褐

4 お わ り に

一般に製炭作業は長年の熟練を要するものようであるが、製炭試験は著者にとって初めてのものであり、一般性のあるデータが得られたか若干心配である。しかし本試験により得られたデータをまとめると次のようになる。

- (1) 自然炭化が起り、かま口を閉じるためには、少なくとも窯上部の温度が300℃以上にあがって、煙突口の温度が安定していることが必要である。
- (2) 炭化が終了するまでには、少なくとも90時間程度は必要である。
- (3) マツクイムシ被害材が今回供試したような品質であれば、品質低下は収炭率に影響をおよぼすほどのものではなく、収炭率にして19%、供試材1㎡当り100kg弱の木炭を得ることができる。また木酢液は1回の製炭で200ℓから300ℓ得ることができる。
- (4) 製炭作業は人手と労力を必要とするものであり、粉じんの著しい作業であり、窯出し作業の改善が必要である。
- (5) 木炭の新しい用途開発を考える場合には、その製炭方法と、製炭コストについても充分考慮に入れて考える必要がある。

以上製炭試験の概要を述べたが、これらのデータがマツクイムシ被害材の木炭利用の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 岸本定吉他：林試研報第60号(1953)
- (2) 岸本定吉他：日曜炭やき師入門、総合科学出版、(1980)

木材炭化成分の多用途利用に関する研究(II)

木酢液の消臭効果に関する研究

名 取 潤
藤 本 登 留

1 はじめに

悪臭は、人の感覚によって知覚されるものであり、発生源は多岐にわたり、住民からの苦情も多い。これらの発生源別の苦情傾向を見ると、最近是一般家庭や飲食店、商店などの都市型、生活型の苦情件数が主位にきているが、畜産業などの産業型の悪臭件数も多い。畜産業の糞尿臭に対する消臭剤としては、木酢液の有効性が検討されたこともあるが、広く実用化される段階までは致っていない。

本研究は、糞尿臭の消臭剤として木酢液がどの程度有効であるかを、アンモニア濃度を中心にして、予備的に検討したものである。

2 試験方法

(1) 木酢液の簡単な性状分析

マツクイムシ被害材を製炭したさい採取した木酢液を供試材とした。供試した木酢液については、次の項目について簡単な性状分析を行った。

- ア 色 (目視による)
- イ PH (PHメータによる)
- ウ 比重 (ボーマ比重計による)
- エ 酸度 (滴定による)

(2) 木酢液等による消臭のための処理条件

図-1 に示すような60ℓのポリ容器に、36cm程度豚の糞尿に稲わらをまぜ込んだものをつめ、重量測定をしたのち、図-2 に示すような囲いの中で保温した状態で試験に供した。

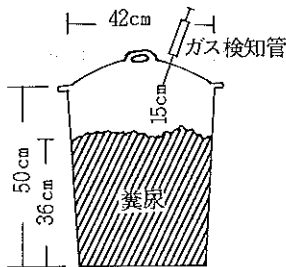


図-1 ポリ容器の形状並びにガス検知管の測定位置

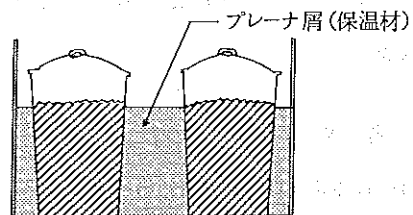


図-2 ポリ容器の設置方法

消臭のための処理条件として、次の条件を設定した。

ア 木炭粉 1,000cc (粒度9.2~20メッシュ、重量195g) に、充分な量の木酢液 (443g) を吸収させたものを、糞上に散布したものを。

イ アと等量の木酢液 (443g) を、噴霧器で糞上に噴霧したものを。

ウ 木炭粉 1,000cc (粒度9.2~20メッシュ、重量195g) に、充分な水道水 (PH 7.0、674g) を吸収させたものを、糞上に散布したものを。

エ 木炭粉 1,000cc (粒度9.2~20メッシュ、重量195g) のみを糞上に散布したものを。

オ マツの鋸屑 1,000cc (重量131g) に、アと等量の木酢液 (443g) を吸収させたものを糞上に散布したものを。

(3) アンモニア濃度の測定

アンモニア濃度の測定は、ガス検知管を用いて行った。測定は散布前、散布後30分、1時間、2時間、3時間、4時間、5時間、6時間、8時間後に行った。また、8時間以上アンモニア濃度の低下が持続する場合は、次の日からアンモニア濃度が散布前の状態に回復するまで、朝9時と15時の1日2回の測定を継続した。

ガス検知管は3L又は3M (ガステック社製) を用いて行い、測定方法は、図-1に示すように、容器のふたにあけた小孔より検知管を挿入して、糞の上約15cmの位置の濃度を測定する方法で行った。またアンモニア濃度の測定と平行して、参考のため一部糞の温度並びに、外気温の測定も行った。

3 結果及び考察

(1) 木酢液の性状分析

木酢液の簡単な性状分析結果を表-1に示した。一般に木酢液の有機酸含有量は5%前後といわれ、その大部分は酢酸である。今回供試した木酢液の有機酸含有量は、酢酸に換算して約3%になりやや低い。

表-1 供試した木酢液の概要

色調	PH	比重	有機酸 (CH ₃ COOHとして)	臭気
汰褐	2.55	1.015	2.96%	燻臭

畜産糞尿の悪臭は、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、トリメチルアミン、フェノール類、アルデヒド、脂肪酸、アルコールなどの複合臭であるといわれている。このうち木酢液の消臭効果としては、有機酸によるアンモニアの中和と、木酢液特有の燻臭によるマスキング効果があげられる。当然有機酸の含有量が多いほど、アンモニアの中和効果は期待できる。

60ℓのポリ容器に36cm程度糞尿を入れた場合、その重量は約25kgになった。畜試より搬入した時点では、糞の温度は約40℃あり、微生物による発酵が盛んに行われていた。しかし試験を行った時点では、鋸屑による保温を行ったが、冬期のため温度は次第に低下し、10℃前後の外気温より若干高い程度で推移した。木酢液を散布した糞の表面積は、約0.113㎡あり、1,000ccの木炭粉又は鋸屑を散布した場合、ほぼ全面を糞がかくれる程度におおうことができた。試験は2月に行ったため、試験中の外気温は、朝は零度近くに低下し、日中は10℃くらいにまで上昇した。

ア 木炭粉に木酢液を含浸した場合のアンモニア濃度

図-3に木炭粉に木酢液を含浸したものを散布した場合のアンモニア濃度の変化を示した。散布前に50PPm以上あったアンモニア濃度は、散布直後に数PPmに低下し、24時間後には検知管で感知できない濃度まで低下した。しかし2日後、3日後と徐々に回復し、約1週間で元の水準まで回復した。

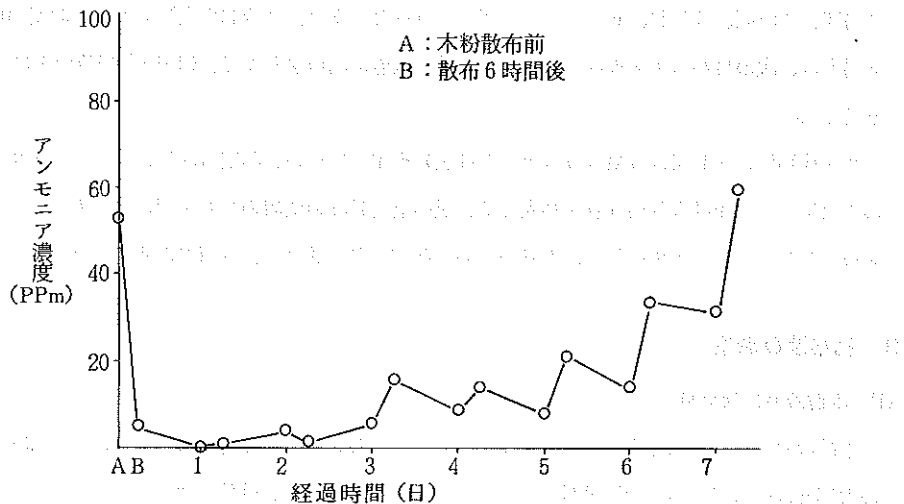


図-3 木炭粉に木酢液を吸させたものを散布した場合のアンモニア濃度の変化

イ 木酢液のみを噴霧した場合のアンモニア濃度

図-4にアの項目で示した木炭粉に含浸させたものと等量の木酢液を直接噴霧した場合の、アンモニア濃度の変化を示した。散布前に70PPm以上あったアンモニア濃度は、散布30分後には数PPmに低下した。しかしその後の濃度の回復は早く、6時間後には40PPmをオーバーし、30時間後にはほぼ元の水準まで回復した。

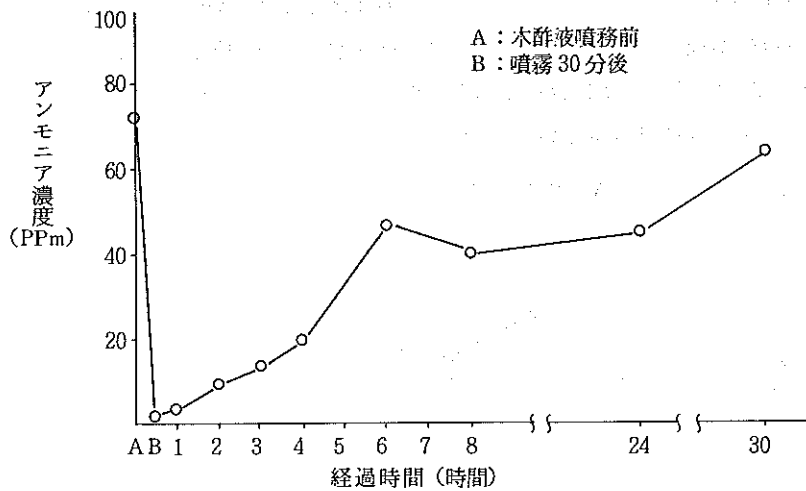


図-4 木酢液を噴霧した場合のアンモニア濃度の変化

ウ 木炭粉に水道水を吸収させたものを散布した場合のアンモニア濃度

図-5にアンモニア濃度の変化を示した。散布前の濃度も34PPmと、比較的低いレベルの状態を試験したので、はっきりした傾向がでていないが、木酢液のようなアンモニア濃度の急激な低下はない。しかし、アンモニア濃度の若干の低下は認められる。また数時間後から元の濃度に戻って行くように思われる。これらの濃度低下の原因は、気化したアンモニアの木炭への吸着と、水道水への溶解のため生じたものと考えられる。

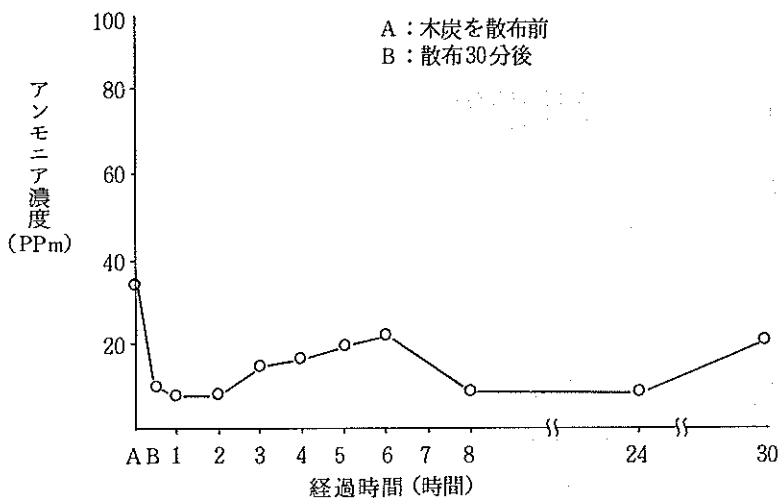


図-5 木炭粉に水道水を吸収させたものを散布した場合のアンモニア濃度の変化

エ 木炭粉のみを散布したもののアンモニア濃度

図-6 に木炭粉のみを散布した場合のアンモニア濃度の変化を示した。散布前に60PPm あったアンモニア濃度は、散布30分後には40PPm に低下した。またその効果は3時間持続したが、4時間後には元の水準まで回復してしまった。このことから、木炭のアンモニア吸着力は、木酢液による中和のような顕著な効果はなく、その持続時間も短いことがわかる。

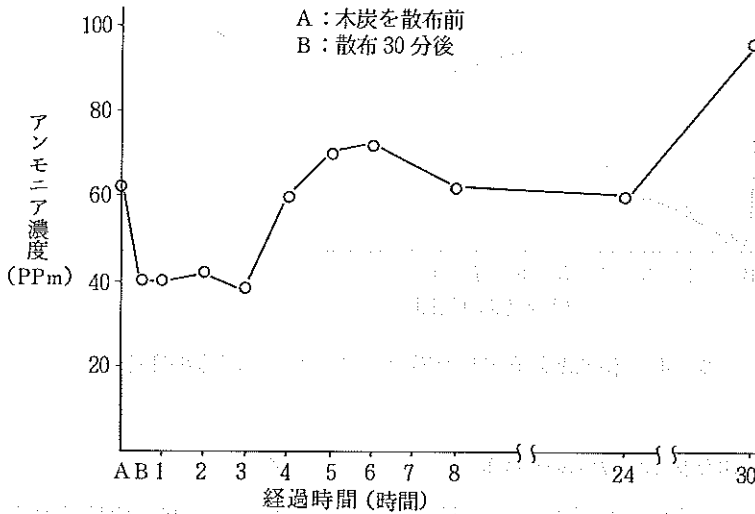


図-6 木炭粉を散布した場合のアンモニア濃度の変化

オ マツの鋸屑に木酢液を吸収させたものを散布した場合のアンモニア濃度

図-7 にアンモニア濃度の変化を示した。散布前60PPm 近くあったアンモニア濃度は、散布30分後には急げきに低下し、その効果は6日間持続した。このことから、木炭粉に木酢液を吸収させたものを散布した場合と、ほぼ同様な効果が期待できることがわかる。

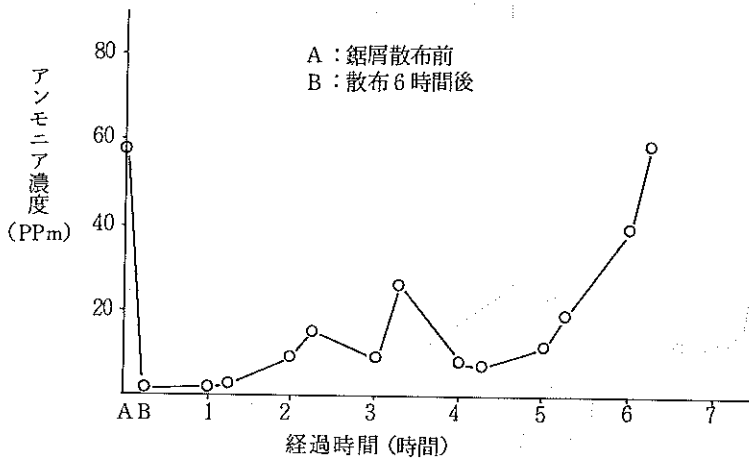


図-7 マツの鋸屑に木酢液を吸収させたものを散布した場合のアンモニア濃度変化

(3) 木酢液の消臭効果

木酢液の消臭効果についておもに、アンモニア濃度の変化を中心に検討を行った。糞尿の悪臭成分としては、アンモニアのほかに前述したような物質が含まれており、またその悪臭の評価方法も感覚的なものである。従って今回の実験値のみで消臭効果を評価することはできない。しかし少なくともアンモニア臭に関しては、木酢液は液中の有機酸による中和反応により、顕著な消臭が期待できる。問題はその効果の持続時間であるが、木酢液を直接糞尿に散布した場合、糞中のアルカリ性成分と短時間に反応してしまい、効果の持続は期待できない。一方、木炭粉や鋸屑などに吸収させた木酢液を散布すると、糞中より気化したアンモニアガスのみが効率よく反応するので、効果が持続するものと考えられる。

次にアンモニア濃度と、悪臭の感覚的な評価方法である臭気強度との関係を図-8に示した。アンモニア濃度と臭気強度には対数関数的な関係があり、数PPmのアンモニア濃度で臭気強度が大きく変化する反面、アンモニア濃度が数10PPmに増加しても、臭気強度は1段階あがる程度である。

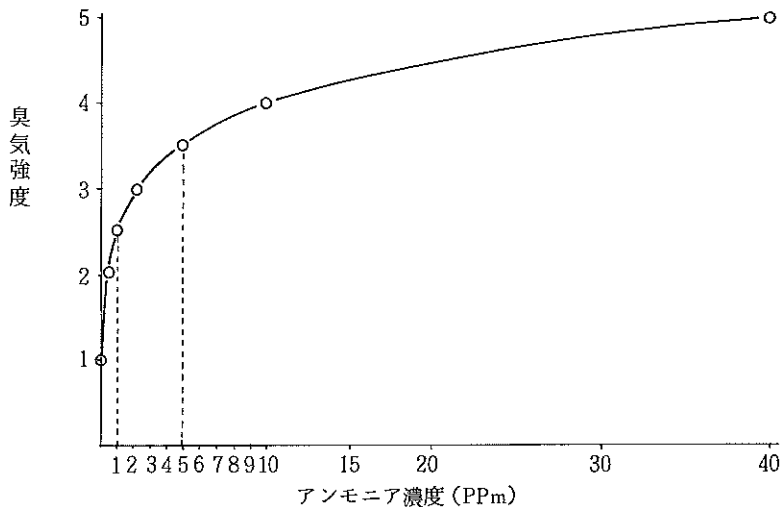


図-8 アンモニア濃度と臭気強度の関係

また悪臭防止法の規制値と臭気強度との関係を見ると、同法では住民の生活環境を保全するため、悪臭を防止する必要があると認める地域を、規制地域として指定して、その地域内の悪臭物質の濃度を規制している。この悪臭物質にはアンモニアも当然含まれており、アンモニアの規制濃度は、主として工業の用に供されている地域、その他悪臭に対する順応が見られる地域では2~5PPm、また上記以外の地域では1~2PPmとなっている。これは臭気強度で見ると1PPmが臭気強度2.5に、また5PPmが臭気強度3.5に対応している。

今回の試験は容器中のアンモニア濃度というきわめて特殊なものであり、実用的な畜産農家の防臭方法を呈示するものではないが、効果を持続させる方法として、鋸屑などへませたものを利用するほうが直接

散布するよりも有利であることが明らかになった。

4 おわりに

木酢液の消臭効果について、アンモニアに注目し、その効果を持続させる方法を検討した。畜産農家の糞尿臭はアンモニアのほか多くの悪臭物質の複合臭であり、この消臭にはアンモニアの中和反応以外に、木酢液が持っている独特の燻臭によるマスキング効果のはたす役割が大きいように思われる。しかしこれらを客観的にとらえるのはむずかしく、数量化の容易なアンモニアのみの検討になってしまった。またこれらの試験データは、冬期のものであるため、悪臭の問題となる夏期のデータについて検討するとともに、実際の畜産農家でどのように応用して行くかが、今後の課題となる。

林 技 情 報 No.16

平成元年12月1日 発行

発行者 有 賀 武 彦

発行所 山梨県林業技術センター
〒400-02 山梨県中巨摩郡
白根町上今諏訪850
TEL (0552) 8 2 - 4 2 1 0

印刷所 (有) 平和プリント社