

木質系バイオマスの炭化生成物の調製と分析

:スギ樹皮およびスギ葉の酢液・タールの分析

松井 隆尚¹⁾・松下 洋一²⁾・菅本 和寛³⁾・角石 衛⁴⁾

Preparation and Analysis of Carbonization Products from Wood Biomass :Analysis of Vinegars and Tars from Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Bark and Leaf

Takanao MATSUI, Yoh-ichi MATSUSHITA, Kazuhiro SUGAMOTO, Mamoru KAKUISHI

Abstract

Each part of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), wood, inner bark, outer bark and leaf was carbonized at 400 °C for 1h under nitrogen atmosphere. The material balance of carbonization products (charcoal, vinegar and tar) prepared from part of Sugi was determined, respectively.

The vinegars from part of Sugi were all acidic solutions (pH=2.2~3.3). The constituents of vinegar and tar were determined by gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS). The vinegar from bark contained 46 compounds such as methanol, acetol, acetic acid, propanoic acid, 2-furaldehyde and pyrocatechol. The vinegar from leaf contained 44 compounds such as methanol, acetol, acetic acid, propanoic acid, pyrocatechol and hydroquinone. The tar from bark contained 63 compounds such as 4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone, acetic acid, benzoic acid, pyrocatechol, *m*-cresol, 2,5-xyleneol, guaiacol, (*E*)-isoeugenol and 1,6-anhydro- β -D-glucopyranose. The tar from leaf contained 63 compounds such as 4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone, acetic acid, furfuryl alcohol, pyrocatechol, *p*-cresol, guaiacol, tridecane and 2-cyclopentenone.

Key words:

Carbonization, Charcoal, Vinegar, Tar, Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), Wood, Inner bark, Outer bark, Leaf

1. 緒言

当研究室では、木質バイオマスの化学的利用を目的

とし、スギ、マツ、タケ等の材部およびスギの樹皮・葉の炭化によって生成する炭化物、木酢液（酢液）および木タール（タール）について研究を行っている¹⁾。

炭化反応時に生成する酢液は着色した水溶液で、アルコール類、ケトン類、カルボン酸類、フェノール類、フラン類等の多種多様な成分を含有しており、抗菌性^{2, 3)}、抗酸化性等の機能性があり、農薬補助剤⁴⁾、殺虫

- 1) 宮崎大学工学部物質環境化学科教授
- 2) 宮崎大学工学部物質環境化学科准教授
- 3) 宮崎大学工学部物質環境化学科助教
- 4) 宮崎大学大学院工学研究科物質環境化学専攻院生

剤⁵⁾、忌避剤⁶⁾および悪臭の除去等に幅広く活用されている。一方、炭化反応時に生成するタールは着色した有機液体で、酢液よりも有機成分の種類・含有量が多く、殺菌性および独特の薫香性があり、鳥獣忌避剤⁷⁾および燃料⁸⁾等に利用されている。酢液およびタールは原料や製造方法の違いにより性状や成分組成が異なり、有効利用するにはこれらの性質を知る必要がある。

宮崎県はスギが広く造林され、国内でも有数のスギの産地である。しかしながら、製材時に大量に出される樹皮や葉などは産業廃棄物として処理され、処理コストが発生し問題となっている。樹木の一部を利用するだけでなく、未利用部分を利用することも重要である。

本研究では前報⁹⁾に続いて、さらにスギの樹皮および葉の炭化生成物(炭化物、酢液、タール)について物質収支および各部位の酢液およびタールの成分分析を詳細に行い比較した。

2. 実験

2.1 試料

樹齢 28 年の宮崎県産スギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)の材、樹皮および葉を用いた。樹皮は内皮と外皮に、スギ葉は緑色の軟らかい部分を分けて集めた。分けた材、内皮、外皮および葉は 2 週間程度風乾させ、3×7 cm ほどの大きさに切り、ウィレー型粉砕機でおがくず状にした。試料はふるいを用いてメッシュ 10 - 115 の大きさに分け、105 ± 3 °C の乾燥器中で恒量になるまで乾燥させた。乾燥後、試料は含水率を一定に保つためデシケーターの中で保存した。試料の含水率は、ケット式赤外水分測定器により重量減少から求めた。

2.2 試料のホロセルロースとリグニンの分離

亜塩素酸塩法改良法¹⁰⁾に従い、次の操作によりリグニンを分解・除去し、ホロセルロースを得た。試料をソックスレー抽出器で 12 時間メタノール抽出した。メタノール抽出した試料 2.5 g と 0.2 M 酢酸緩衝液 150 cm³ を 300 cm³ 三角フラスコに入れた。次いで、亜塩素酸ナトリウム 1 g および氷酢酸 0.2 cm³ を加え、湯浴中(設定温度 70-80 °C)で 1 時間加熱した。1 時間後、冷却することなく亜塩素酸ナトリウム 1 g と氷酢酸 0.2 cm³ を加えて湯浴中で 1 時間加熱した。この操作を 4 回行い放冷した。放冷後、吸引ろ過し、蒸留水 500 cm³ およびア

セトン 50 cm³ で洗浄しホロセルロース 1.25-1.97 g を得た。

Klason 法¹⁰⁾に従い、次の操作により Klason リグニンを得た。メタノール抽出した試料 2 g と 1% 水酸化ナトリウム水溶液 100 cm³ を 200 cm³ 三角フラスコに入れ、三角フラスコ上部にジムロート管を付け、油浴中(設定温度 110-120 °C)で 1 時間アルカリ抽出した。抽出後、吸引ろ過し、ついで 90 °C の蒸留水 300 cm³、10% 酢酸水溶液 50 cm³、90 °C の蒸留水 300 cm³ で順次吸引ろ過した。アルカリ抽出した試料 1 g および 72% 硫酸 15 cm³ を 100 cm³ ビーカーに入れ、室温に 4 時間静置した。4 時間後、ビーカーの内容物を蒸留水 560 cm³ で洗い流しながら、1 dm³ ビーカーに移し、4 時間煮沸し放冷した。放冷後、吸引ろ過し、90 °C の蒸留水 500 cm³ で洗浄し、Klason リグニン 0.26-0.36 g を得た。

2.3 炭化生成物の調製

試料の炭化は、既報に従い¹²⁾、炉心管出口に冷却浴とリービッヒ冷却器を持つ受け器を接続した炭化用電気炉装置を用いて行った。試料は燃焼ポート(20 mm × 12 mm × 150 mm)に約 10 g を詰め炉心管中央に置いた。窒素気流中(約 20 cm³min⁻¹)下に 200 °C/h で炭化温度 400 °C まで上昇して、その炭化温度で一定時間保持後冷却する方法で炭化を行った。炭化の間に流出する酢液・タールを受け器に集め、遠心分離して上層の酢液とタールにそれぞれ分離した。炉心管内部に付着するタールはアセトンに溶解し、減圧下にアセトンを留去して集め、受け器に捕集したタールと合わせて収量とした。得られた酢液およびタールは冷蔵庫で保管し、各種分析の試料とした。

2.4 酢液の pH 測定

スギの材、内皮、外皮および葉から調製した酢液を、pH 測定器 F-13 (株式会社堀場製作所)の電極の先端に浸して pH 測定を行った。

2.5 酢液およびタールの成分分析

スギの材、内皮、外皮および葉から調製した酢液を、GC-MS による成分分析に用いた。GC-MS 分析はガスクロマトグラフ質量分析計(GCMS- QP2010, 株式会社島津製作所製)を使用して行った。ポリエチレングリコール修飾キャピラリーカラム DB-WAX (0.25 mm I.D. × 25 m, エス・ジー・イー・ジャパン(株)製)、を分析に使用した。酢液は蒸留水で、タールはアセトンで希釈し、メンブレンフィルター (0.45 μm) で濾過したのち 1 μL を

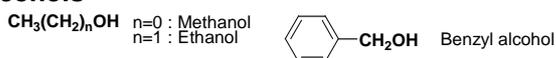
GC-MS 測定に使用した。GC-MS クロマトグラムの各ピークのマスフラグメントをシミラリティ検索し、成分を推定し、その化合物を分析標品 (Fig.1, 68 種類) とした。成分の同定は試料成分と分析標品のリテンションタイムおよびマスフラグメントの一致により行い、また絶対検量線法を利用して定量分析した。

GC conditions: Capillary column: DB-WAX (0.25 mm I.D.×25 m, J & W Scientific). Column conditions: 40 °C (0-1 min), 40-245 °C (10 °C/min, 1-21.5 min), 245 °C(21.5-40 min). Injector temperature: 250 °C. Carrier gas: He. Column flux: 3.00 cm³/min. Split ratio: 1/40.

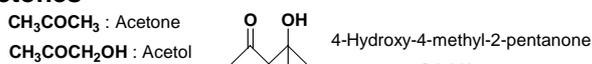
MS conditions: Interface temperature: 250 °C. Ion source temperature: 200 °C. Scan time conditions: 1.5-4.0 min (12.00-250.00 m/z), 6.0-40.0 min (41.00-350.00 m/z).

3. 結果および考察

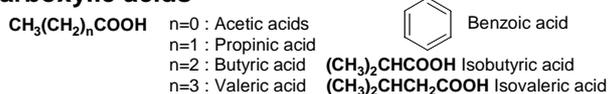
Alcohols



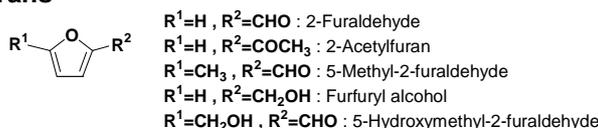
Ketones



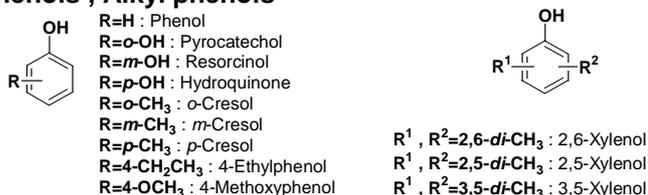
Carboxylic acids



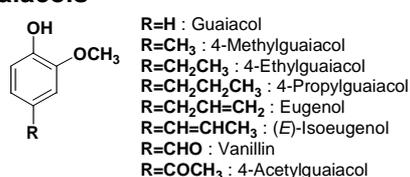
Furans



Phenols, Alkyl phenols



Guaiacols

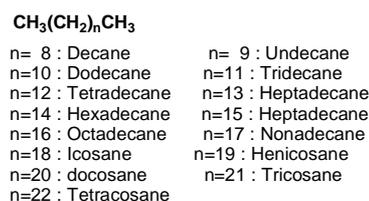


3.1 炭化生成物の物質収支

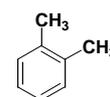
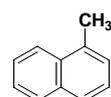
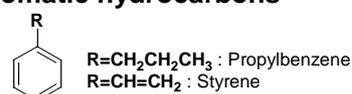
スギの材、内皮、外皮および葉を 400 °C 炭化反応した。炭化生成物 (炭化物、酢液、タール) の物質収支を Table 1 に示す。炭化物の収率は、外皮で 52%、内皮で 50% となり樹皮が最も高い収率となった。酢液の収率は、材の 35% が最も高い収率となり、またタールの収率は葉の 15% が最も高い収率となった。

木材成分の熱分解は、ヘミセルロースでは 180~300 °C、セルロースでは 240~400 °C、リグニンでは 280~550 °C とされている^{11, 12}。炭化温度 400 °C において、ヘミセルロースとセルロースはほぼ炭化物およびガスに熱分解・変化したと考えられる。スギの材、内皮、外皮、葉のホロセルロース含有量の順 (Table 2) と酢液の収率の順がほぼ同じになった。従って、酢液の収率は試料中に含まれるホロセルロースの量に影響されると考察される。

Alkanes



Aromatic hydrocarbons



Other compounds

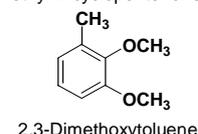
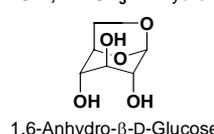
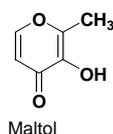
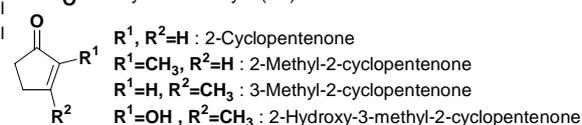
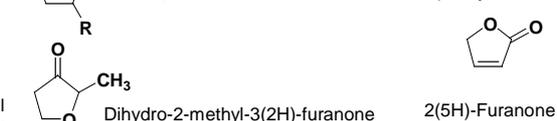


Fig.1. Standard compounds for determination of constituents of vinegar and tars from part of Sugi.

Table 1 Material balance of carbonization products from part of Sugi^{a)}

Part of Sugi / (g)	Yield / %			
	Charcoal	Vinegar	Tar	Total
Wood (12.70)	39	35	9	83
Inner bark (8.27)	50	31	6	87
Outer bark (9.17)	52	24	5	81
Leaf (16.29)	34	27	15	76

a) Water content of the wood: 1.6%, inner bark: 1.8%, outer bark: 1.7%, leaf: 1.8%.

Table 2 Components of hollocellulose and Klason lignin in each part of Sugi

Part of Sugi	Hollocellulose / wt. %	Klason lignin / wt. %
Wood	76.9	28.5
Inner bark	57.2	16.0
Outer bark	47.4	14.7
Leaf	44.9	14.1

3.2 酢液のpH値

スギ材酢液の pH=2.2、スギ内皮酢液の pH=2.6、スギ外皮酢液の pH=2.4 およびスギ葉酢液の pH=3.3 であり、全て酸性を示した。これらの結果は酢液の成分に酢酸を始めとしたカルボン酸類およびフェノール類が多く含まれていることによると考えられる。

3.3 酢液の成分分析

スギの材、内皮、外皮および葉から調製した酢液を GC-MS を用いて成分分析し、各成分量は絶対検量線法を用いて定量分析した。結果を Table 3 に示す。

スギ材酢液を基準として、定性した 47 種類の化合物について各酢液の成分量を比較した。スギ材酢液に含まれていたアルコール類、カルボン酸類、フラン類、フェノール類および他の化合物はスギ内皮酢液、スギ外皮酢液およびスギ葉酢液にも同様に含まれていた。スギ材酢液の主成分 (酢液 1 kg 当り 1 g 以上の含有成分) はメタノール、アセトール、酢酸およびピロカテコールの 4 成分であり、スギ内皮酢液はその 4 成分に加えて、プロピオン酸、2-フルアルデヒドおよびフルフリルアルコール、スギ外皮酢液はその 4 成分に加えて、プロピオン酸と 2-フルアルデヒド、スギ葉酢液はその 4 成分に加えて、プロピオン酸とヒドロキノンであった。

フェノール類の成分について、ピロカテコールの含有量はスギ材酢液よりもスギ葉酢液が最も多く、次いでスギ内皮酢液とスギ外皮酢液が多かった。またグアイアコール類はスギ材酢液が最も多く、次いでスギ内皮酢液、スギ外皮酢液、スギ葉酢液の順であった。ピロカテコールとグアイアコール類はリグニンから生成すると考えられ¹¹⁾、Klason リグニン量は材が最も多く、次いで内皮、外皮、葉の順であることから、グアイアコール類の含有量は Klason リグニン量と対応した関係

Table 3 Determination of constituents of vinegars from part of Sugi

Group	Compound	Amount / mg kg ⁻¹			
		Wood	Inner bark	Outer bark	Leaf
Alcohols	Methanol	1582	3473	1864	7112
	Ethanol	2	2	10	14
	Benzyl alcohol	0	0	0	35
	Total	1584	3475	1874	7161
Ketones	Acetone	65	380	664	605
	Acetol	9589	7987	2271	8702
	Total	9654	8367	2935	9307
Carboxylic acids	Acetic acid	6535	9806	8117	13747
	Propanoic acid	806	1134	1655	1221
	Isobutyric acid	12	19	63	31
	Butyric acid	150	192	143	169
	Isovaleric acid	7	40	54	45
	Valeric acid	9	19	27	24
	Crotonic acid	124	146	151	100
	Benzoic acid	128	123	0	129
	Total	7771	11479	10210	15466

Furans	2-Furaldehyde	851	1780	6432	837
	2-Acetylfuran	74	133	127	120
	Tetrahydrofurfuryl alcohol	194	454	134	294
	5-Methyl-2-furaldehyde	122	280	886	205
	Furfuryl alcohol	498	1912	65	1252
	5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde	71	100	229	33
Total		1810	4659	7873	2741
Phenols	Phenol	197	544	632	804
	Pyrocatechol	1750	9827	9628	13025
	Hydroquinone	818	574	251	1681
	Resorcinol	0	4	7	8
Total		2765	10949	10518	15518
Alkyl phenols	<i>o</i> -Cresol	33	15	26	26
	<i>m</i> -Cresol	34	21	34	29
	<i>p</i> -Cresol	29	21	34	30
	2,6- Xylenol	6	0	8	0
	4-Ethylphenol	3	2	6	8
Total		105	59	108	93
Guaiacols	Guaiacol	884	692	527	385
	4-Methylguaiacol	361	136	231	63
	4-Ethylguaiacol	186	102	87	42
	4-Propylguaiacol	40	15	13	0
	Eugenol	90	45	24	0
	(<i>E</i>)-Isoeugenol	92	120	62	34
	Vanillin	92	58	91	22
	4-Acetylguaiacol	182	122	284	67
Total		1927	1290	1319	613
Other compounds	Cyclopentanone	221	174	111	247
	3-Methylcyclopentanone	4	2	0	4
	Dihydro-2-methyl-3(2 <i>H</i>)-furanone	0	34	21	32
	2-Cyclopentenone	710	965	704	908
	2-Methyl-2-cyclopentenone	109	128	94	151
	3-Methyl-2-cyclopentenone	78	126	116	158
	γ -Butyrolactone	183	316	109	229
	2(5 <i>H</i>)-Furanone	438	340	254	243
	Maltol	194	356	1037	348
	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopentenone	852	658	623	697
	1,6-Anhydro- β -D-glucose	883	345	558	341
Total		3672	3444	3627	3358
Total		29288	43722	38464	54257

が見られた。しかし、ピロカテコールの含有量はスギ葉酢液に最も多いことから、リグニン以外の熱分解物が考えられる。タバコ葉の熱分解物からピロカテコールが多く生成することが報告されている¹³⁾。スギの樹皮や葉は材に比べタンニン類を多く含むことが知られており、スギ内皮酢液、スギ外皮酢液およびスギ葉酢液の中のピロカテコールはタンニン類からも生成されることが考えられる。

3.4 タールの成分分析

スギの材、内皮、外皮および葉から調製したタール

を GC-MS を用いて成分分析し、各成分量は絶対検量線法を用いて定量分析した。結果を Table 4 に示す。

スギ材タールを基準として、定性した 65 種類の化合物について各タールの成分量を比較した。スギ材タールに含まれていたカルボン酸類、フラン類、フェノール類および他の化合物はスギ内皮タール、スギ外皮タールおよびスギ葉タールも同様に含まれていた。しかし、スギ材タールにはほとんど存在しないアルカン類および芳香族炭化水素がスギ内皮タール、スギ外皮タールおよびスギ葉タールに含まれていた。スギ材ター

Table 4 Determination of constituents of tars from part of Sugi

Group	Compound	Amount / mg kg ⁻¹			
		Wood	Inner bark	Outer bark	Leaf
Alcohols	Benzyl alcohol	0	0	0	158
Ketones	Acetol	11688	456	448	3401
	4-Hydroxy-4-methyl-2-pentanone	8918	23706	16192	7216
	Total	20606	24162	16640	10617
Carboxylic acids	Acetic acid	4688	1649	5672	9040
	Propanoic acid	1518	611	1960	1591
	Isobutyric acid	39	47	93	78
	Butyric acid	311	513	519	556
	Isovaleric acid	42	89	240	136
	Valeric acid	65	96	341	248
	Crotonic acid	209	0	70	0
	Benzoic acid	660	2358	1724	692
	Total	7532	5363	10619	12341
Furans	Furfural	3867	149	5439	596
	2-Acetylfuran	502	256	437	216
	Tetrahydrofurfuryl alcohol	676	447	38	711
	5-Methylfurfural	765	314	3712	480
	Furfuryl alcohol	5933	720	851	1592
	5-Hydroxymethylfurfural	219	111	145	33
	Total	11962	1997	10622	3628
Phenols	Phenol	2868	5020	10464	4896
	Pyrocatechol	13700	31577	43292	17420
	Hydroquinone	1386	3263	1233	1865
	Resorcinol	0	101	89	20
	Total	17954	39961	55078	24201
Alkyl phenols	<i>o</i> -Cresol	1207	1594	2390	786
	<i>m</i> -Cresol	1818	3014	4066	789
	<i>p</i> -Cresol	1727	2953	3938	1359
	2,6-Xylenol	159	149	191	101
	2,5-Xylenol	861	1373	6024	832
	3,5-Xylenol	0	9	26	0
	4-Ethylphenol	165	331	257	109
	4-Methoxyphenol	29	99	27	91
	Total	5966	9522	16919	4067
Guaiacols	Guaiacol	8238	3829	4839	2293
	4-Methylguaiacol	6675	1830	4865	746
	4-Ethylguaiacol	5587	2491	3647	959
	4-Propylguaiacol	2800	2242	2420	563
	Eugenol	3081	2477	2237	575
	(<i>E</i>)-Isoeugenol	9353	4871	4561	1292
	Vanillin	611	319	336	56
	4-Acetylguaiacol	2010	873	1616	179
Total	38355	18932	24521	6663	
Alkanes	Dodecane	11	0	193	836
	Tridecane	0	23	428	1196
	Tetradecane	0	137	556	910
	Pentadecane	0	0	13	486
	Hexadecane	0	371	1507	184

	Heptadecane	0	176	377	245
	Octadecane	0	184	470	256
	Nonadecane	39	113	484	239
	Icosane	17	106	299	221
	Henicosane	0	241	19	271
	Docosane	0	34	85	242
	Tricosane	0	36	134	190
	Tetracosane	0	18	0	1112
	Total	67	1439	4565	6388
Aromatic hydrocarbons	<i>o</i> -Xylene	58	0	14	457
	<i>n</i> -Propylbenzene	0	0	0	195
	Styrene	8	0	9	250
	1-Methylnaphthalene	42	109	199	107
	Total	108	109	222	1009
Other compounds	Cyclopentanone	1014	83	158	885
	3-Methylcyclopentanone	41	0	11	44
	2-Cyclopentenone	2976	788	1384	1729
	2-Methyl-2-cyclopentenone	933	509	637	773
	3-Methyl-2-cyclopentenone	686	849	872	556
	γ -Butyrolactone	581	385	158	234
	2(5 <i>H</i>)-Furanone	1032	258	313	306
	2,3-Dimethoxytoluene	272	929	650	117
	Maltol	333	828	2070	563
	2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopentenone	3073	1383	1493	1187
	1,6-Anhydro- β -D-glucose	2907	5218	4361	1299
	Total	13848	11230	12107	7693
	Total	116398	112715	151293	76765

ルの化合物類の主成分（タール 1 kg 当り 1 g 以上の含有成分）はアセトール、酢酸、フルフリルアルコール、ピロカテコール、*m*-クレゾール、(*E*)-イソオイゲノールおよび 2-ヒドロキシ-3-メチル-2-シクロペンテノン（シクロテン）であり、スギ内皮タールは 4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、安息香酸、ピロカテコール、*m*-クレゾール、(*E*)-イソオイゲノールおよび 1,6-アノヒドロ- β -D-グルコピラノース、スギ外皮タールは 4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、酢酸、2-フルアルデヒド、ピロカテコール、2,5-キシレノール、グアイアコール、ヘキサデカン、および 1,6-アノヒドロ- β -D-グルコピラノース、スギ葉タールは 4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、酢酸、フルフリルアルコール、ピロカテコール、*p*-クレゾール、グアイアコール、トリデカンおよび 2-シクロペンテノンであった。

タールと酢液の含有成分を比較すると、アルコール類は酢液に多く、カルボン酸類は酢液とタールにほぼ同じで、フラン類、フェノール類、アルカン類、芳香族炭化水素およびその他の化合物はタールに多かった。

まとめ

- 1) スギの材、内皮、外皮および葉を 400 °C で炭化し、炭化生成物の物質収支を調べた。収率の最も高い原料は、炭化物では外皮の 44%、酢液では材の 35%、タールでは葉の 15%であった。
- 2) スギ材酢液の pH=2.2、スギ内皮酢液の pH=2.6、スギ外皮酢液の pH=2.4 およびスギ葉酢液の pH=3.3 であり、全て酸性を示した。
- 3) スギ材酢液、スギ内皮酢液、スギ外皮酢液およびスギ葉酢液はアルコール類、カルボン酸類、フラン類、フェノール類および他の化合物の 47 種類を含有していた。
- 4) 酢液の主成分は、スギ材酢液ではメタノール、アセトール、酢酸およびピロカテコールの 4 成分であった。スギ内皮酢液はその 4 成分に加えて、プロピオン酸、2-フルアルデヒドおよびフルフリルアルコール、スギ外皮酢液はその 4 成分に加えて、プロピオン酸と 2-フルアルデヒド、スギ葉酢液はその 4 成分

- に加えて、プロピオン酸とヒドロキノンであった。
- 5) スギ材タール、スギ内皮タール、スギ外皮タールおよびスギ葉タールはカルボン酸類、フラン類、フェノール類および他の化合物の 65 種類を含有していた。
- 6) タールの化合物類の主成分は、スギ材タールではアセトール、酢酸、フルフリルアルコール、ピロカテコール、*m*-クレゾール、(*E*)-イソオイゲノールおよびシクロテンであった。スギ内皮タールは4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、安息香酸、ピロカテコール、(*E*)-イソオイゲノールおよび 1,6-アンヒドロ- β -D-グルコピラノース、スギ外皮タールは4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、酢酸、2-フルアルデヒド、ピロカテコール、2,5-キシレノール、グアイアコール、ヘキサデカン、および 1,6-アンヒドロ- β -D-グルコピラノース、スギ葉タールは4-ヒドロキシ-4-メチル-2-ペンタノン、酢酸、フルフリルアルコール、ピロカテコール、*p*-クレゾール、グアイアコール、トリデカンおよび2-シクロペンテノンであった。
- 7) スギ内皮タール、スギ外皮タールおよびスギ葉タールはスギ材タールにはほとんど存在しないアルカン類および芳香族炭化水素を含有していた。
- 43 - 47 (2007) .
- 9) 松井隆尚、松下洋一、菅本和寛、角石衛、宮崎大学工学部紀要、**35**、41-45 (2006) .
- 10) 木材科学実験書 II. 化学編、日本木材学会、pp 154-156 (1989) .
- 11) 松下洋一、菅本和寛、日高健一、松井隆尚、日本化学会誌、**3**、385-391 (2002) .
- 12) 栗山旭、“木材化学(下)”, 右田伸彦、米沢保正、近藤民雄編、共立出版、pp.61-77 (1968) .
- 13) W. S. Schlotzhauer, R. M. Martin, M. E. Snook, R. E. Williamson, *J. Food Chem.*, **30**, 372 - -74 (1982) .

参考文献

- 1) この報文を、“樹木バイオマスの有機化学資源としての利用研究”の第 37 報とする。第 36 報: 松井隆尚、松下洋一、菅本和寛、寺尾匡史、宮崎大学工学部紀要、**36**、27-31 (2007) .
- 2) 松木伸浩、三田村敏正、土井則夫、日本蚕糸学雑誌、**67**、143-145 (1998) .
- 3) S. Inoue, T. Hata, Y. Imamura, D. Meier, *Wood Res.* **87**, 34-36 (2000) .
- 4) 森田恭充、林直人、新井真澄、植物防疫、**60**、130-146 (2006) .
- 5) M. Yatagai, M. Nishimoto, K. Hori, T. Ohira, A. Shibata, *J. Wood Sci.* **48**, 338-342 (2002) .
- 6) 谷田貝光克、林業と薬剤、**156**、1-7 (2001) .
- 7) K. Orihashi, Y. Kojima, M. Terazawa, *J. For. Res.*, **6**, 191-196, (2001) .
- 8) 井田民男、難波邦彦、佐野寛、高温学会誌、**33**、