

屋久島における植物資源からの有用成分抽出と有効利用

化学・環境部 安藤浩毅, 森田慎一*, 田島英俊**, 古川郁子, 神野好孝***

Extraction and Effective Utilization of the Components Obtained from the Plant Resources in Yakushima

Hiroki ANDO, Shin-ichi MORITA, Hidetoshi TAJIMA, Ikuko FURUKAWA and Yoshitaka KAMINO

屋久島で発生する農林産廃棄物や未利用植物の中で有用と考えられる資源として、発生量の多いスギ（おが屑・加工端材、樹皮、針葉等）、発生時季や場所が集中するポンカンの規格外品、柑橘類の未熟摘果、クスノキ科のアオモジ等を選定した。これらから精油等を抽出・分析し、スギ樹皮については加圧熱水による分解抽出挙動を解明した。また、抽出物は抗酸化作用等の機能性について検討した。さらに、加圧熱水抽出残渣は、炭化による利用を想定して炭化条件ごとの性能評価を行い、抽出から炭化に至る一連のカスケード利用システムの一例を示した。

Keyword : Plant resources, Steam distillation, Hot compressed water extract, Carbonization, Utilization

1. 緒言

屋久島は、その優れた景観と、人と自然とが共生してきた歴史的背景から、1993年に世界自然遺産に登録された。その屋久島をモデルとして、地域活性化と自然環境の保全を両立できる循環型社会の構築を目指した研究プロジェクトが、平成13～15年度の3年間において、鹿児島大学を中核機関とする多くの研究機関により実施され、循環型社会へ移行するための6つのシナリオ¹⁾が提案された。

当センターは、本研究プロジェクトの一環として、屋久島で発生している農林産廃棄物や、島内に豊富に自生しているが全く利用されていない植物などを植物資源として捉え、これらから、水蒸気や加圧熱水²⁾など各種の状態にある水を用いることにより、環境に対する負荷が少ない方法で、成分の抽出や熱分解による変換を行うことを検討した。また、抽出物や熱分解物については、抽出残渣の炭化物としての利用も含めて、機能性や物性評価を行った。さらに、それらの結果をふまえて、屋久島における植物資源のカスケード利用システムの一例を示したので報告する。

2. 実験方法

2.1 植物資源の調査

農林産廃棄物や未利用植物などの植物資源を原材料として、屋久島における循環型社会システムに適合する利用システムを構築するという観点から、まず屋久島で発生する植物資源の現状（種類、量、発生時季など）を把握し、産業創出につながると期待される植物を選定した。

選定にあたっては、屋久町、上屋久町の両町役場、県屋久島事務所、地元製材所およびJA屋久島等において、聞き

取り調査および現地調査等を行った。

2.2 精油の抽出および成分分析

前項で選定した植物資源から、精油を利用できると考えられる植物資源について、局方精油定量装置を用いて精油を定量した後、含有成分の分析を行った。成分分析は、GC（Hewlett Packard製、HP5890 Series）およびGC-MS（株式会社津製作所製、GCMS-PQ2010）を用いて行った。GC分析は、FID検出器を使用し、キャリアーガスはヘリウム（1 mL/min）とした。カラムは、DB-5（0.25mm×30m, Film 0.25 μm, J&W Scientific 製）を用い、カラム温度は60 から246 まで3 /minで昇温し、30分間保持した。注入量は2 μL、スプリット比は1:50、注入温度は220 とした。なお、組成分析は得られたクロマトグラムのピーク面積比から算出した。また、GC-MS分析はヘリウムの線速度を34.96cm/secとし、その他はGC分析と同じ条件とした。成分の同定は、保持時間とマススペクトルを文献値³⁾と比較することにより行った。

2.3 加圧熱水抽出および成分分析

既報²⁾で示した熱水流通式パーコレータ型反応器（仕込み容量：3.6mL）を有する加圧熱水処理装置を用いて、以下の手順で加圧熱水によるスギ樹皮の分解と抽出を行った。

反応器内にスギ樹皮粉末（0.1～0.5mm）を約0.8g仕込み、圧力を2.0～2.5MPa、通水速度を15mL/min一定に設定し、所定の温度条件で分解と抽出を行った。溶出液は5分間隔、あるいは10～20 間隔でサンプリングし、既報²⁾に従って生成物の定量（収率[wt%] = 溶質重量/仕込み重量 × 100）および溶出液の糖分析を行った。また、各フラクションの一部からエーテル（12mL × 2回）により再抽出し、エーテル可溶分についてGC-MSで分析した。分析条件は精油と同条件で行った。

* 林業振興課, ** 木材工業部, *** 企画情報部

2.4 機能性評価

2.4.1 試料の調製

原料として、ポンカンおよびタンカンの未熟摘果およびスギ樹皮を用いた。

未熟摘果に関しては、直接破砕後搾汁して得られた搾り粕（必要に応じて、ロータリーエポレータで残留する精油成分を除く）200gに対して500mLの50vol%エタノール水溶液を加え、60℃で2時間還流させながら抽出を行った。冷却後、固液分離し、液部からロータリーエポレータでエタノールを除去後、凍結乾燥により10~20gの固形粉末を得た。このようにして得られた粗抽出物10gに対して200mLの割合で蒸留水を加えて再溶解し、遠心分離（2000min⁻¹, 5min）および、0.45μmのメンブランフィルターにより水不溶成分を完全に除去した。その後、合成吸着剤（DIAION HP20, 三菱化成株）を充填したガラスカラム（3.3cm×L40cm, 充填量：180g）に通して成分を吸着させ、1Lの超純水でカラム内を洗浄後、1Lの50%エタノール水溶液で溶出させた。溶出液からエタノールを除去した後、凍結乾燥により1.0~2.5gの粗精製物を得た。

スギ樹皮に関しては、前項と同じスギ樹皮粉砕物0.8gに対して約500mLの加圧熱水で分解抽出した後、溶出液の一部から凍結乾燥により固形粉末を得た。これを粗抽出物として、未熟摘果と同様の処理を行い粗精製物を得た。なお、加圧熱水抽出条件は、加圧熱水温度を180℃、圧力を2MPa、通水速度を15mL/minとそれぞれ一定にし、抽出時間は40分とした。ただし、抽出開始からの5分間は十分に所定温度まで達していないため、5分以降の35分間を溶出液として回収した。

2.4.2 抗酸化試験

抗酸化作用を測定する方法は、目的に応じていくつかの方法が提案されているが、本研究では活性酸素（O₂^{·-}）消去能および1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl（DPPH）ラジカル消去能を測定した。

活性酸素（O₂^{·-}）消去能については、阿賀らの方法⁴⁾を一部改変し、以下のようにして行った。50mM Na₂CO₃緩衝液(pH 10.8) 2.4mL, 3mM EDTA・2Na 0.1mLおよび0.75mM NBT 0.1mLを混合した溶液に、試料溶液(S)0.05mL（対照として蒸留水(D)）および3mMキサンチン(XT)溶液 0.1mLを添加してよく混和させ、O₂発生前の吸光度560nm(0min)および尿素生成前の吸光度 295nm(0min)を測定した。次に、0.5Uキサンチンオキシダーゼ(XOD)溶液（5 unitsのXOD懸濁液（和光純薬工業株製）をリン酸緩衝液(PBS)で10倍希釈したもの）0.05mLを添加して反応を開始し、15分後にそれぞれの吸光度を測定し、15分間の吸光度の増加量を求めた。また、反応開始剤のXOD溶液の代わりにPBSのみ加えたもの(B)を対照とし、(1)式に基づいてO₂^{·-}消去活性を求め、各試料が50

%のO₂^{·-}発生を阻害する濃度(IC₅₀)でO₂^{·-}消去能を評価した。

$$O_2^{\cdot-} \text{消去活性}(\%) = 100 - (O_2^{\cdot-} \text{発生率} \div \text{尿素生成率}) \times 100 \cdots (1)$$

$$O_2^{\cdot-} \text{発生率}(\%) = \{ (A_{(S)560,15} - A_{(B)560,15}) - (A_{(S)560,0} - A_{(B)560,0}) \} \div \{ (A_{(D)560,15} - A_{(B)560,15}) - (A_{(D)560,0} - A_{(B)560,0}) \} \cdots (2)$$

$$\text{尿素生成率}(\%) = \{ (A_{(S)295,15} - A_{(B)295,15}) - (A_{(S)295,0} - A_{(B)295,0}) \} \div \{ (A_{(D)295,15} - A_{(B)295,15}) - (A_{(D)295,0} - A_{(B)295,0}) \} \cdots (3)$$

ここで、数式中のA_{(X)Y,Z}は、Aが吸光度(Absorbance)、(X)がサンプル(Sample)、蒸留水(Distilled water)、ブランク(Blank)のいずれか、Yが波長(nm)、Zが反応時間(min)を表す。

また、DPPHラジカル消去能については、須田ら⁵⁾の方法（1μmolのトロロックスに相当するDPPHラジカル消去能）を用いた。

2.5 炭化および物性評価

図1に示す縦型円筒形の反応器（7.4cm×H9.3cm, 容量約400cm³）と電気炉から構成される炭化装置（炭化部：アジア理化器株製、温度制御部：株旺計社製）を用い、原料を約60g仕込み、窒素ガス雰囲気下（200mL/min）で、初期温度50℃（10分間保持）、昇温速度2℃/min、炭化温度480~920℃（1~3時間保持）で炭化を行った。自然放冷後、全窒素・全炭素測定装置（株住化分析センター製、SUMIGRAPH NCH-900）を用いて炭素含有率を測定し、比表面積測定装置（コアサイオニクス株製、Autosorb-1）を用いて比表面積(BET)、全細孔容積および平均細孔径を測定した。また、JIS K 1474活性炭試験方法に準じてヨウ素吸着性能を測定した。なお、各試験結果は2~3回の平均値で表した。

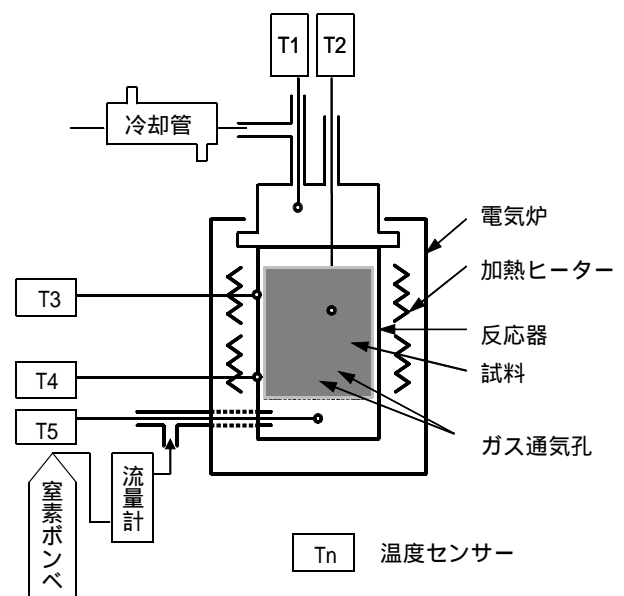


図1 炭化装置の概要

表1 屋久島で発生する主な植物資源

種類	形状・部位等	年間発生量	発生時季	備考
農林産廃棄物				
スギ(造林木)	おが屑・加工端材	1,000 ~ 1,500 m ³	ほぼ通年	ヘミセルロース等
"	樹皮	400 m ³	"	抗菌成分等
"	間伐材	1,500 ~ 2,000 m ³	"	
"	針葉(球果含む)	-	"	精油等
ポンカン	未熟摘果	-	8 ~ 10月	"
"	格外品・不良品	50 ~ 100 t	11 ~ 1月	"
タンカン	未熟摘果	-	6 ~ 8月	"
"	格外品・不良品	6 ~ 10 t	2 ~ 3月	"
ヤマイモ(屋久トロ)	皮,変色部	100 t	ほぼ通年	デンプン等
未利用植物				
アオモジ	枝,葉,根	-	通年	精油等
"	果実	-	6月頃	"
タブノキ	葉,樹皮	-		ワックス等
タケ	成竹,筍	-		抗菌成分等
その他				
屋久杉	おが屑,加工端材	~ 100 m ³	通年	樹脂・精油等

3. 結果および考察

3.1 未利用植物資源の調査

屋久島に産する植物資源について、聞き取りや統計による調査を行った結果を、農林産廃棄物、未利用植物およびその他に分類して表1に示した。

屋久島には植林されたスギも多く存在する。平成12年度は、4,500m³程度の原木(島外産も含む)が島内で消費され、製材品約2,500m³、チップ1,300m³程度が生産されていた。製材端材はチップ化されていることから、廃棄物として発生するのは主におが屑・加工端材および樹皮であった。樹皮の発生量は、原木材積に対して1割弱の約400m³程度と考えられた。樹皮の一部は、島内の堆肥化センターで堆肥の原料として利用されていたが、製材工場の敷地に野積みになっているものも見受けられた。また、製材工場処理される原木の他に、現在国の補助金により緊急間伐事業が行われており、ここ数年は多くの間伐材(年間2,000m³目標)が発生すると考えられた。それらの多くは切り捨てで、山間に放置されているとのことであった。

一方、屋久島では基幹農産物として、ポンカン・タンカン等の柑橘類の生産が盛んであり、また最近では、ヤマイモ(屋久トロ)の生産が増加していた。柑橘類は幾分タンカンの生産高が増える傾向にあった。平成12年度のJA選果場では、11月から1月にかけて、屋久町と上屋久町の両町あわせて820トン(屋久島における全生産量の約半分に相当)のポンカンが入荷された。うち小玉2S以下の規格外品、スアガリ等の不良品が25トン発生し、そのほとんどは堆肥化センターで堆肥原料となっていた。年によっては倍くらいの不良品が発生することもあるという。タンカンは2月下旬から3月にかけてポンカンと同程度の収穫があり、ポンカンに比べて不良品の発生は6トン程度と少なかった。

また、ヤマイモは140トン(平成12年度、屋久町側)の収穫があり、すり下ろした生芋を冷凍パックしたものが加工品として製造されていた。加工は、冷蔵貯蔵したものを用いてほぼ通年行われていたが、貯蔵中に変色した部分や皮の部分除去するため原料の約半分は廃棄処分となっていた。その廃棄量は屋久町だけで65~70トン/年であり、今後とも増加する見込みであった。これも最終的に堆肥化センターに委ねられていた。

このように多くの農林産廃棄物は、現在、最終的に堆肥化センターで堆肥原料として利用されていた。しかし、いずれの場合も、発生源となる業界としてはできるだけ廃棄処分する量を減らせるような方策とともに、廃棄物の新たな有効活用が見出されることを切望していた。

これらの農林産廃棄物とは別に、屋久島に豊富に自生する植物資源として、クスノキ科のアオモジがあげられた。この木は、2月頃開花し6月に結実するが、樹木全体(葉、根、材、実など)に芳香性の成分が含まれている。特に果実には多くの精油成分が含まれており、香辛料としても利用できる。その他、照葉樹であるタブノキ(屋久島全般)やタケ(上屋久町側)等も、まとまった発生はないものの成分利用の観点から興味深いところがある。

さらに、屋久島の特産品である屋久杉の加工クズには、多量の樹脂成分(精油などのテルペノイド成分)が含まれており、量的には多くないものの島のシンボリックな存在として有効利用が望まれていた。

3.2 精油の定量および成分分析

屋久島に産する植物から、精油抽出に有効と考えられる植物資源について、スギ(葉・球果)、ポンカン(果皮)、タンカン(果皮)およびアオモジ(果実)を選定し、それらから精油を抽出・定量し、破碎方法による抽出効率の違

表2 屋久島産植物資源からの精油収率

植物名	部位	採取年月	破碎方法	精油収率 (%)
スギ	葉	2002. 8	手破碎	0.35
"	球果	"	なし	0.28
ボンカン	成熟果果皮	2001.12	手破碎	0.47
"	"	"	ホモジナイザー	2.60
"	未熟摘果	2002. 8	フードカッター + 圧搾	1.97
タンカン	成熟果果皮	2002. 2	手破碎	1.30
"	"	"	ホモジナイザー	3.65
"	未熟摘果	2002. 6	フードカッター	0.83
アオモジ	果実	2002. 6	なし	3.16

* 試料生重量に対する精油の重量比

いを検討した。

表2に同方精油定量装置による熱水蒸留で得られた精油成分の定量結果(試料生重量あたりの精油重量%)について示した。柑橘類の果皮については、ホモジナイザーで細胞を破碎することにより、精油の回収量が2~5倍程度に増大することがわかった。また、ボンカン未熟摘果から1.97%、タンカン未熟摘果からは0.83%の精油が得られた。

続いて、これらの精油に含まれているテルペノイド成分をGC-MSおよびGCにより定性および定量分析を行った。その結果、主成分として以下の成分が認められた。スギ葉および球果: -Pinene, Sabinene, -Terpinene, -Myrcene, Terpinen-4-ol(以上モノテルペン類), Elemol, -Eudesmol(セスキテルペン類), Phyllocladene, Kaurene(ジテルペン), ボンカン・タンカン果皮: Limonene(89-95%), -Pinene, -Myrcene, Linalool, アオモジ果実: Geranial, Neral, Citronellal, Limonene, 2-Methyl-2-hepten-6-one, -Myrcene, Linalool, 未熟摘果のうち、ボンカンではLimonene(84.1%), Para-cymene(4.2%), -Terpineol(2.3%)が、タンカンではLimonene(73.3%), Linalool(19.4%), (E)- -Ocimene(2.2%)等が主成分として認められた。タンカンは成熟果と比べてLimoneneの占める割合が低かった。

また、これらの精油とは別に、スギ樹皮に含まれるテルペノイド成分を検討する目的で、ヘキサンによる溶媒抽出を行った。リファイナーで粉碎した試料をソックスレー抽出した結果、抽出物1.0%が得られた。GC-MSによる成分分析の結果、Ferruginol, 6,7-Dehydroferruginol, Phyllocladanol(ジテルペン類)他1成分が主成分として認められた。

3.3 加圧熱水による有用成分の抽出

屋久島で局所的かつ大量に発生する植物資源としてスギ樹皮を選定し、加圧熱水を用いたスギ樹皮からの有用成分の抽出について検討した。スギ樹皮は、乾物基準で大まかにセルロースが26~27%、ヘミセルロースが14~15%(ホロセルロースからセルロースを差し引いた値)、リグニン

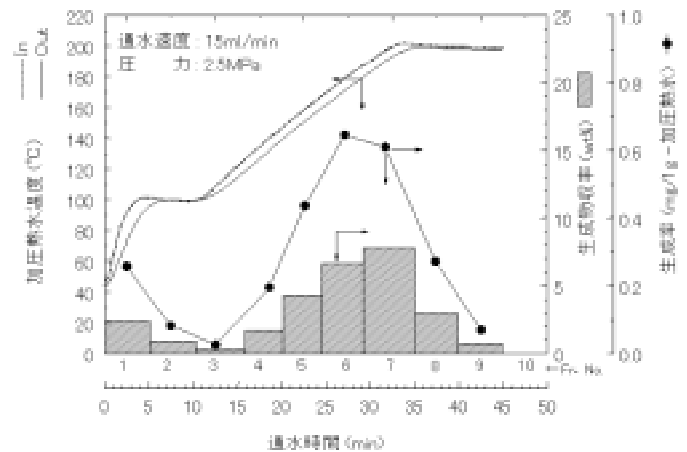
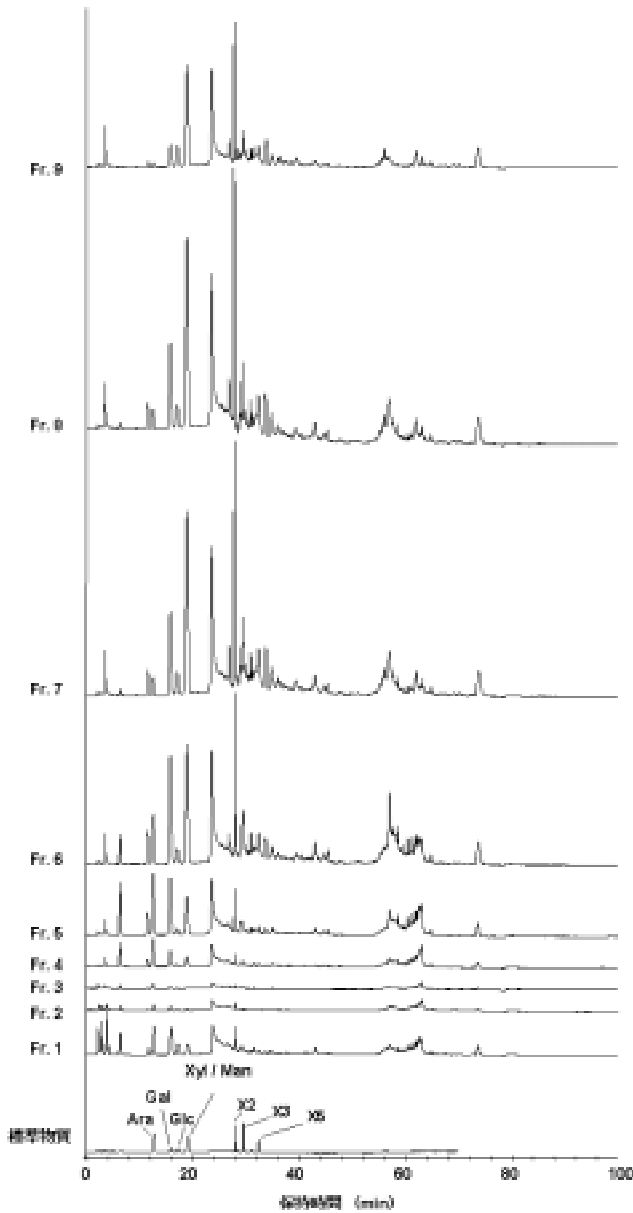


図2 加圧熱水によるヤクスギ樹皮の昇温分解抽出挙動

が24~43%、エーテル抽出物が約6%、灰分が1~3%から構成され⁶⁾、前項で示したジテルペン類はエーテル抽出物に含まれる。ジテルペン類は、抗菌性⁷⁾や抗蟻性⁸⁾のような生物活性を示すことが知られているが、脂溶性のため通常の熱水ではほとんど抽出できない。また、ヘミセルロースを加水分解した糖類、中でもキシロオリゴ糖には腸内細菌の増殖促進効果⁹⁾や免疫促進効果¹⁰⁾等の生物活性に関する様々な報告があり、付加価値の高い利用方法が見込まれる。そこで、このような有用成分の加圧熱水による抽出の可能性や抽出条件について検討した。

加圧熱水の温度条件として、温度制御装置(外部加熱ヒーター)の設定を100°Cで10分間保持し、その後4°C/minの昇温を開始して200°Cで15分間保持するように設定した。その結果、図2に示されるように、反応器の入口および出口温度は、通水開始から4~7分後に設定温度に達し、12分後から4°C/minの昇温を開始した。

生成物収率は、Fr. 1~9の各フラクションで抽出された成分(生成物)を合計すると仕込み量(乾物)に対して約28wt%であり、また、反応器内に残った抽出残渣は約60wt%であった。残りの約12wt%はガスあるいは回収ロスと考えられた。180~200°C付近(Fr. 7)で生成物収率が最大に達していることから、この温度範囲が最適抽出温度と考

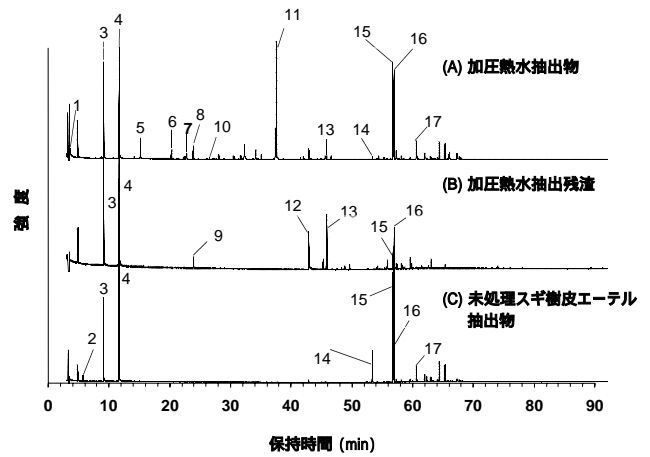


Ara : Arabinose
 Gal : Galactose
 Glc : Glucose
 Xyl/Man : Xylose/Mannose
 X2 : Xylobiose
 X3 : Xylotriose
 X5 : Xylopentaose

図3 ヤクスギ樹皮加圧熱水分解抽出物のイオンクロマトグラム

えられた。ただし、なるべく少ない水量で生成物の収率を上げるのであれば、加圧熱水 1g 当たりの生成率が最大に達している 160~180 (Fr. 6) の温度範囲が適当であると考えられた。

図3にイオンクロマトグラフによる糖分析の結果を示した。この結果と図2の温度上昇経過から、120~140 (Fr. 4) でスギ樹皮ヘミセルロースの加水分解が始まっていることがわかった。また、保持時間20分までに単糖であるア



1. Furfural
2. α -Pinene
3. Solvent
4. Solvent
5. 1,2-Benzenediol
6. 2-Methoxy-4-vinylphenol
7. 4-Propylphenol
8. Vanillin
9. 3-Hydroxy-4methyl-benzaldehyde
10. 2-Methoxy-4-propylphenol
11. 4-Hydroxy-2methoxy cinnamaldehyde
12. 1-Hexadecanol
13. Isophyllocladane
14. Phyllocladanol
15. 6,7-Dehydroferruginol
16. Ferruginol
17. α -Keto ferruginol

図4 スギ樹皮エーテル可溶分のGC-MS分析結果

ラビノース、グルコース、ガラクトース、キシロース/マンノース(キシロースとマンノースのピークは重なる)が検出され、それ以降にはキシロオリゴ糖の標準物質と保持時間が一致するピークが確認された。

Fr. 7 Fr. 8
 から、ス

続いて、スギ樹皮を 2 MPa, 180 一定の加圧熱水で分解抽出して得られた溶出液のエーテル可溶分(A)をGC-MSで分析したときのトータルイオンクロマトグラム(TIC)を図4に示した。また、加圧熱水抽出残渣のエーテル可溶分(B)および原料から直接得られるエーテル可溶分(C)のTICも同図に示した。この結果から、スギ樹皮の主要なジテルペン類である 6,7-Dehydroferruginol(15), Ferruginol(16)が加圧熱水により抽出されてくることが明らかとなった。一方 Phyllocladanol(14)は(A)および(B)のいずれにもほとんど検出されていないことから、加圧熱水により分解されることが示唆された。

3.4 各抽出物の抗酸化能

抗酸化物質は食品の劣化防止や油脂の酸化防止に用いられているが、最近ではヒトの疾患や老化に関連するとされている活性酸素の抑制物質としても注目されている。そこで、3.1で示した植物資源から、既存の研究報告^{7),11),12)}により活性酸素消去能を有する物質を含むと期待される素材として、ポンカン・タンカンの未熟摘果およびスギ樹皮を選定し、未熟摘果に関しては50%エタノール水溶液により抽出したもの(粗抽出物)およびその粗精製物、スギ樹皮に関して180 における加圧熱水抽出物(粗抽出物)およびその粗精製物について活性酸素(O₂⁻)消去能を調べた。

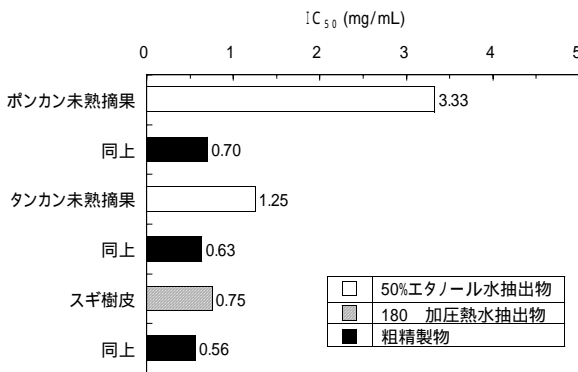


図5 各種試験サンプルの活性酸素消去能

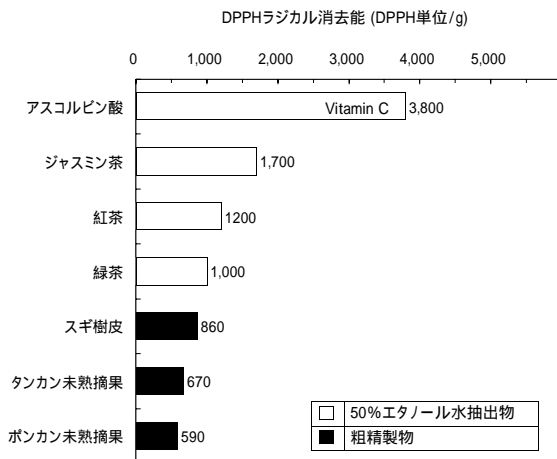


図6 各種試験サンプルの DPPH ラジカル消去能の比較

さらに抗酸化能の強度についてDPPHラジカル消去能で評価した。

その結果、図5に示されるように、すべての試料に対してO₂⁻消去能が示され、DIAION HP20で粗精製を行うことにより、さらにO₂⁻消去能は向上することがわかった。

また、図6に示したDPPHラジカル消去能の結果から、今回測定したものはいずれも、アスコルビン酸(Vitamin C)ほどの抗酸化能は示されなかったが、スギ樹皮由来加圧熱水抽出物の粗精製物には、緑茶に近い抗酸化能を有することがわかった。

3.5 加圧熱水抽出残渣の炭としての利用

加圧熱水抽出残渣を炭化物として利用することを想定し、加圧熱水処理前のスギ樹皮を用いて炭化条件を検討し、続いて、特定の炭化条件によって得られた抽出残渣炭の物性および吸着特性の評価を行った。

3.5.1 炭化保持時間の影響

炭化における最高温度の保持時間は炭化物製造の作業時間やコストに大きく影響することから、炭化温度を700℃、昇温速度を2℃/min一定とし、保持時間を1、3および5時間に変化させて各物性に与える保持時間の影響を調べた。

その結果、表3に示されるように、炭素含有率、比表面積(BET)およびヨウ素吸着性能は保持時間が長くなるに従って若干増加する傾向を示したが、その差はそれほど顕著ではなかった。

炭化保持時間に関しては、ヒノキ材の炭化(炭化温度900℃、昇温速度5℃/min)において、保持時間が長いほど細孔のマクロ孔およびメソ孔が発達が見られ、市販活性炭と同程度の吸着性能を有するものが得られるという報告¹³⁾やクロマツの炭化(炭化温度650℃、昇温速度2℃/min)では、2時間以上になると比表面積(BET)およびヨウ素吸着性能のいずれも徐々に増加傾向を示すという報告¹⁴⁾、また、モウソウチクの炭化(炭化温度580℃、昇温速度2℃/min)では、1および3時間の保持時間において比表面積(BET)およびヨウ素吸着性能に大きな違いが見られないが、5時間以上では約半分まで低下するという報告¹⁵⁾もある。このように保持時間は、樹種や炭化条件によっても大きく異なる。今回行ったスギ樹皮の炭化においては、1~

表3 各保持時間で炭化したスギ樹皮炭の細孔特性およびヨウ素吸着性能

保持時間 (h)	収率 (%)	炭素含有率 (%)	比表面積(BET) (m ² /g)	全細孔容積 (cm ³ /g)	平均細孔径 (nm)	ヨウ素吸着性能 (mg/g)
1	33.9	83.4	350	0.206	11.7	430
3	33.3	85.5	370	0.219	11.8	470
5	31.9	86.6	380	0.228	12.0	500

(昇温速度: 2℃/min, 炭化温度: 710℃)

表4 抽出残渣炭およびスギ樹皮炭の物性等の比較

原料	収率 (%)	炭素含有率 (%)	比表面積(BET) (m ² /g)	全細孔容積 (cm ³ /g)	平均細孔径 ()	ヨウ素吸着性能 (mg/g)
抽出残渣	37.9	83.5	360	0.216	11.8	540
スギ樹皮	32.1	87.2	370	0.217	11.6	510
木・竹炭*	20 ~ 30	80 ~ 90	100 ~ 400	-	-	100 ~ 400

*市販品 (炭化温度：800 , 昇温速度：2 /min, 保持時間：1 h)

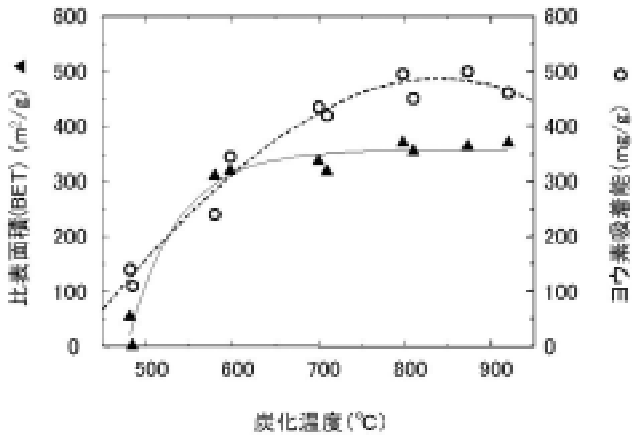


図7 各炭化温度におけるスギ樹皮炭の比表面積 (BET) およびヨウ素吸着性能

5時間の保持時間の範囲で得られた炭化物の比表面積 (BET)やヨウ素吸着性能などの物性値に著しい変化が見られなかったことから、以後の実験では保持時間を1時間に設定して行った。

3.5.2 炭化温度の影響

炭化温度480~920 , 昇温速度2 /min, 保持時間1時間の条件でスギ樹皮の炭化を行った。その結果, 炭化物収率は, 480 の時41.7%から炭化温度の上昇に伴って徐々に減少し, 920 では約30%になった。また, 図7に示されるように, 比表面積(BET)は, 炭化温度の上昇に伴って増加したが, 600 以上では, ほぼ360m²/gと一定になった。一方, ヨウ素吸着量性能は炭化温度の上昇に伴い増加し, 800 付近で最大値約500mg/gに達した。

3.5.3 加圧熱水抽出残渣炭の特性

スギ樹皮の炭化条件において, 比較的高いヨウ素吸着性能を示した条件(炭化温度:800 , 昇温速度:2 /min, 保持時間:1時間)で加圧熱水抽出残渣の炭化を行った。その結果, 表4に示されるように, 加圧熱水処理を行う前後の原料間では, 炭化収率および炭素含有率に多少の違いは見られたが, 比表面積(BET), 全細孔容積, 平均細孔径およびヨウ素吸着性能に関してはほとんど差は見られなかった。従って, 今回の炭化条件および評価方法では, 加圧熱水(抽出)による前処理が, 炭化した場合に炭の物性に及

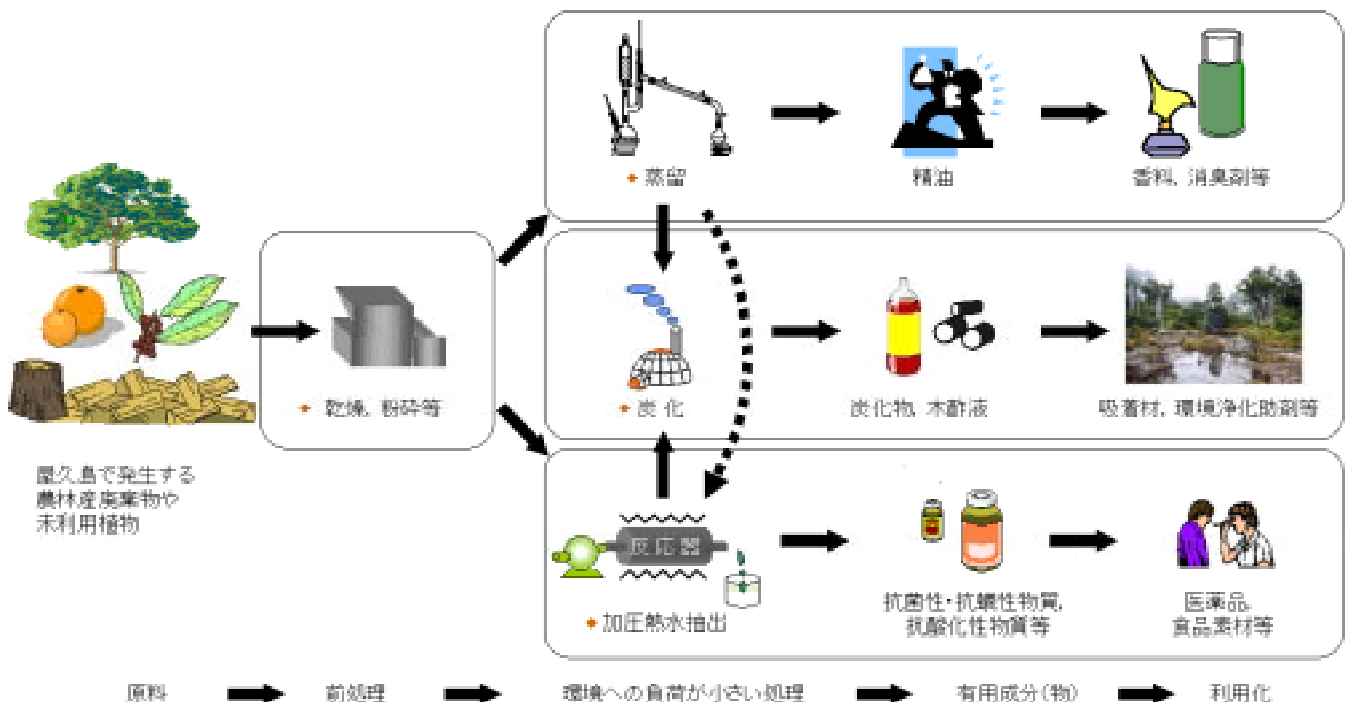


図8 屋久島における植物資源カスケード利用システムの一例

ばす影響を明らかにすることはできなかった。

しかし、樹種および炭化条件にもよるが、一般的な木・竹炭に比べると比表面積(BET)およびヨウ素吸着性能において高い性能を示したことから、スギ樹皮を原料とする炭の吸着剤としての利用価値は高いと考えられた。

3.6 植物資源カスケード利用システムの一例

本研究で得られた知見から、屋久島で発生する農林産廃棄物や未利用植物のカスケード利用システムの一例を図8に示した。この中で、精油抽出に有効と考えられる植物資源については、乾燥や粉碎等の前処理後、蒸留により精油の抽出を行なうことで、香料や消臭剤等、各種精油を用いた商品開発につながると考えられた。なお、屋久島において工業生産ベースで精油の抽出を行うには、抽出効率の検討や原料の発生時季を考慮した通年生産を行うことが必要と考えられた。

続いて、精油抽出残渣やその他の植物資源については、一般的に有機溶剤でしか抽出されない有用成分(例えば、本研究で示されたスギ樹皮のジテルペン類など)を加圧熱水により抽出し、さらに加圧熱水の温度領域を変えながらヘミセルロースやリグニン由来成分(加水分解によって生成するオリゴ糖や芳香族化合物等)の抽出を行なうことで、抗菌性・抗蟻性や抗酸化性等の機能性を生かした商品化が期待できると考えられた。ただし、将来的に食品素材や医薬品等としての利用を図るには、抽出効率の検討、成分組成や物質の特定等を明確にし、また、ヒトへの安全性等を検証する必要がある。

最後に、植物資源の完全利用を図るために各抽出残渣を炭化物として利用することを想定した。炭化物の付加価値の高い利用法の一つとして吸着剤があるが、吸着特性に関しては、樹種や炭化条件も含めてまだ未解明なところが多い。そのため、今後様々な化学物質を対象とした吸着試験を重ね、炭の特性を明確化することで、吸着剤や環境浄化助剤等への利用につながると考えられた。

4. 結 言

屋久島で発生する農林産廃棄物や未利用植物の中で有用と考えられる資源を示し、抽出から炭化に至る一連のカスケード利用システムの一例を示した。今後、個々の植物資

源の成分や発生状況など、それぞれの特性に応じた利用方法をシステムティックに適用させていくことが、屋久島における資源循環型社会の構築のために必要であると考えられる。

謝 辞

本研究は、平成13~15年度文部科学省科学技術振興調整費先導的研究等の推進「循環型社会システムの屋久島モデルの構築」の一部として行った。

参 考 文 献

- 1)屋久島プロジェクト・ワーキンググループ：“ゼロエミッション屋久島プロジェクト-循環型社会へ移行するためのシナリオ-”(株)海像社(2004)p15
- 2)安藤浩毅ら：鹿児島県工業技術センター研究報告，14，45-51(2000)
- 3)Robert.P.Adams：“Identification of Essential oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy” Allured(2000)
- 4)阿賀 創ら：日本食品科学工学会誌，45，210(1998)
- 5)篠原和毅ら：“食品機能研究法”光琳(2000)p218
- 6)農林水産省林業試験場：“改訂3版木材工業ハンドブック”，丸善(株)(1982)p172
- 7)松下洋一ら：日本化学会中国四国・同九州支部合同大会講演要旨集 2000，33(2000)
- 8)坂東真也ら：香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会講演要旨集，46，235(2002)
- 9)Okazaki M, S Fujikawa and N Matsumoto: Bifidobacteria Microflora, 9, 77-86(1990)
- 10)青山政和: J.Hokkaido For. Prod. Res. Inst., 9, 1-8(1995)
- 11)石上政道ら：特開平9-315993(1997)
- 12)松井直之ら：木質炭化学会誌，1，39(2004)
- 13)安部郁夫ら：炭素，171，p.18-23(1996)
- 14)新村孝善ら：鹿児島県工業技術センター研究報告，12，41-45(1998)
- 15)松永一彦ら：鹿児島県工業技術センター研究報告，13，23-30(1999)