タイワンヒノキ古材の簡易識別方法^{*1}

成田廣枝^{*2}, 安藤直人^{*2}, 空閑重則^{*2}

Simple Identification of Weathered Wood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*^{*1}

Hiroe NARITA^{*2}, Naoto ANDO^{*2} and Shigenori KUGA^{*2}

Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), a Japanese native conifer is an important tree as timber for temples and shrines. Taiwan hinoki (*C. obtusa* var. *formosana*), a Formosan native, is a close relative of hinoki, and had been used as its substitute before Taiwan's ban on harvesting in 1992. Since Taiwan hinoki was used for restoration of many old wooden buildings, identification of the two species as timber is important in historic studies. Distinction of the two species, however, is known to be difficult by mere anatomical examination. Here we attempted chemical identification of a wood specimen from a university gate weathered for over 70 years. While neither GC/MS of volatile components nor qualitative analysis of hinokitiol could determine the species, thin-layer chromatography (TLC) of the dichloromethane extract by silica gel plate combined with fluorescence fingerprinting was found effective for distinguishing the two species. The results showed that the wood of the old gate is *C. obtusa* var. *formosana*. This technique of TLC fingerprinting is potentially useful in chemotaxonomical identification of wood species in general.

Keywords: weathered wood, identification, *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*, *Chamaecyparis obtusa*, thin layer chromatography.

約70年間雨曝しで使用された古材の樹種が、タイワンヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*) とヒノキ (*C. obtusa*) のいずれであるか判別を試みた。顕微鏡組織観察、揮発性成分の GC/MS 分析、ヒノキチオール-鉄錯体の呈色反応および薄層クロマトグラフィー (TLC) を行った。その結果、ジクロロメタン抽出液の TLC において、タイワンヒノキとヒノキは明確に識別され、古材はタイワンヒノキと同定された。よって、長期間雨曝しにされたタイワンヒノキの同定には、TLC フィンガープリント分析法のみが有効であった。

1. 緒 言

日本の神社仏閣等の建築には古くからヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) が多用されており、例え

ば奈良市元興寺の禅室部材の一部は飛鳥時代の600～650年に伐採されたヒノキである¹⁾。ヒノキは大径長尺で木理は通直、耐久性が高く、高級建材としての重要性は今日でも変わっていない。しかしながらその大木は時代と共に減少しており、1900年代には代用品として同じヒノキ科のタイワンヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*) が用いられた。タイワンヒノキは台湾特産であり、大径長尺で木理は通直、ヒノキよりは材の赤みがやや強く、重硬で脂分が多く、匂いが異なるものの、材質はヒノキとはほぼ同等の高品質材である。そのため我が国でも建築、造船などの分野で活用されてきた。中でも文化的価値の高い建造物の補修に多用され、1976

^{*1} Received July 27, 2012; accepted January 9, 2013.
本研究の一部は第61回日本木材学会大会 (2011年3月, 京都) において発表した。

^{*2} 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan
Corresponding author: H. Narita (ahnarita@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

～1996年という短期間だけでも国宝・重要文化財の補修材として206 m³ 使用されたという報告がある²⁾。したがって台湾ヒノキ製として周知されている靖国神社の神門や明治神宮の大鳥居の他にも、ヒノキ造りとされながら台湾ヒノキで補修された建造物が多数存在する。

建造物の補修には同種の材を使用するのが原則なので、元の部材がヒノキであるか台湾ヒノキであるかを修理に先立って識別する必要があるが、もともと同属で木質の類似するこれら二種の識別は容易ではない。加えて1992年以降台湾の国有天然林が伐採禁止となったため、現在は台湾ヒノキの新材を入手するのは困難であり、実際に材を扱って識別する経験を積むのも難しい状況である。ヒノキと台湾ヒノキの顕著な相違は化学成分にある³⁾。中でも台湾ヒノキはモノテルペンであるhinokitiol (ヒノキチオール, 別名: β -thujaplicin) を少量含有しているのに対し、ヒノキはこれを極微量しか含まない⁴⁾。ヒノキチオールは7員環という特異な炭素骨格を持つが、6員環と同様の芳香族性を示し、さらに鉄と錯塩を形成して赤色を呈するという特徴がある⁵⁾。

本研究では、東京大学の農正門に使用されていた木材がヒノキであるか台湾ヒノキであるかの判定を試みた。古材の樹種鑑定の基本は光学顕微鏡による組織観察であるが^{6, 7)}、それだけで不確実な場合には抽出成分の化学分析が有効とされている^{8, 9)}。そこで本研究では組織観察で樹種を絞り込んだうえで、抽出成分の化学分析とヒノキチオールの定性試験を行った。前者については、ジクロロメタン抽出物中の揮発性成分(ヘキサン可溶物にほぼ相当)のガスクロマトグラフィー/質量分析(GC/MS)、およびジクロロメタン抽出物全体についての薄層クロマトグラフィーを行った。ヒノキチオールの定性確認には鉄イオンとの呈色反応を用いた。なお、樹木の精油成分は、化学成分の比較に基づく植物分類(ケモタキソノミー)の指標とされるように^{10, 11)}それぞれの植物に特有のものといえることができる。しかしながら、産地や部位などにより異なる場合があることも知られており、ヒノキも例外ではない¹²⁾。また、特定の成分の産地別および個体別比較を行った例としてヒバ材中のヒノキチオールについての報告もある¹³⁾。本研究においても、慎重を期すために、対照試料は産地の異なる2個体について検討した。

2. 実験材料および方法

2.1 供試材料

識別対象の古材は1937年に作製された東京大学農学部の正門(農正門)門扉であって、2003年に新しい門扉に交換された後、屋外保管されていた旧門の部材の一部を二箇所より採取した。すなわち、農正門は観音開き門扉2枚とその両側の片開き門扉2枚との計4枚の門扉から構成されていたが、1つの試料木片(古木a)は1枚の観音開き門扉の下部より、他の試料木片(古木b)は1枚の片開き門扉の上部より採取した。古木aおよび古木bにはそれぞれ少なくとも170年/20 cm および95年/10 cmの年輪が確認された。このように年輪幅が非常に狭い場合は大木であり、大木は一般に辺材部分が狭いため、古木aおよびbは大部分が心材と推定され、たとえ農正門に辺材を含む木材が使用されていても、試料木粉への辺材の混入は少ないと考えられた。比較試料として市販の木曽ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*, ヒノキa), 高知産ヒノキ(ヒノキb), 2種の台湾ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*, タイヒa, タイヒb)の心材を用いた。ヒノキチオール標品には和光純薬製品を用いた。

2.2 組織観察

木材組織の観察は、木片を片刃カミソリで薄片とし、(株)日立ハイテクノロジーズ製卓上型走査電子顕微鏡 Miniscope[®]TM3000を用いて行った。

2.3 成分分析

木片をウイレーミルで粉碎し、直径2 mmの篩を通した木粉2 gを20 mlのジクロロメタンに5時間浸漬し、抽出液の溶媒を留去した後n-ヘキサン可溶部について島津製作所製QP5050A Ver.1によりGC/MS分析を行った。キャピラリーカラムはNB-1 (30 m× ϕ 0.25 mm, 膜厚0.25 μ m, GLサイエンス製)を用い、温度条件は60℃で1分保持し、5℃/minで昇温後、250℃で11分保持した。キャリアーガスはHeを用いカラム入口圧を30 kPaとし、気化室温度は250℃、インターフェース温度は260℃とした。化合物の同定は、Adams¹⁴⁾ およびNIST (National Institute of Standards and Technology, USA) 62のマスマススペクトルライブラリーを用いて行った。なお、ヒノキと台湾ヒノキのクロマトグラムの違いを判定することにより、古木の樹種同定の可否を検討することに主眼をおいたため、個々のピークについて、保持時間の厳密な検証は行わなかった。

2.4 呈色反応

ヒノキチオール検出の呈色反応は Fig. 1 のように行った。まず、木粉 1 g に 20% 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を 5 ml 加えて反応させ、さらにジクロロメタン 3 ml を添加して反応生成物であるヒノキチオール鉄錯体をジクロロメタンで抽出し (Fig. 1A), CH_2Cl_2 layer I について色相をヒノキチオール標品の鉄錯体ジクロロメタン溶液 (ヒノキチオール換算濃度: 0.05%) と比較した。ヒノキチオール含有量は、ヒノキ中では微量 (0.005% 以下) であるため、標品ヒノキチオールの濃度はヒノキよりは充分濃くなるように調整した。次に、ヒノキチオールの水への溶出を調べるために、木粉 1 g に 5 ml の水を添加し、10 分間超音波処理を行った。これをデカンテーションで残渣木粉と水抽出部に分離し、それぞれについて同様の処理により鉄呈色反応を行い (Fig. 1B), 残渣木粉からの CH_2Cl_2 layer II および水抽出部からの CH_2Cl_2 layer III について色相を観察した。

2.5 薄層クロマトグラフィー

木粉 2 g を 20 ml のジクロロメタンに 5 時間浸漬し、ジクロロメタン抽出物を薄層クロマトグラフィー (TLC) で分析した。薄層プレートは Merck 社の蛍光剤入りシリカゲル 60 F₂₅₄ (5×20 cm) を使い、検出には 254 nm および 365 nm の紫外線を用いた。すなわち、254 nm の紫外線では、蛍光剤により薄層プレート全体が緑色に発色し、化合物は紫外線を吸収して黒ずんだスポットとして検出されるのに対し、365 nm の紫外線では自然に蛍光を発する化合物が水色のスポットとして検出されることを利用した。

Fig. 1. Flow chart of hinokitiol-ferric chloride reactions.

Legend: A. Dichloromethane extraction of hinokitiol-ferric chloride complex; B. Water extraction of hinokitiol followed by complexation test.

3. 結果と考察

3.1 組織観察

古木 a, ヒノキ a およびタイヒ a の組織観察の結果を Fig. 2 に示す。ヒノキおよびタイワンヒノキについては、これまでに詳細な解剖学的な研究が行われている^{15, 16)}。それらによると、ヒノキおよびタイワンヒノキは横断面においては共に晩材幅が 1~3 列にすぎず、極めて狭い。一方、接線断面においては、ヒノキは接線壁が平滑で有縁壁孔は見られないが、タイワンヒノキは年輪界近くの晩材仮道管の接線壁に小さい有縁壁孔が数多く見られるとされている。しかしながら今回の観察結果では Fig. 2 (T) に示すように、古木 a, ヒノキ a, タイヒ a のいずれも接線断面に小さな有縁壁孔が見られた。このため古木の樹種は解剖学的には判別できなかった。

3.2 GC/MS による成分分析

古木 a, ヒノキ a およびタイヒ a の揮発性成分のガスクロマトグラフを Fig. 3 に示す。ヒノキ a (Fig. 3B) とタイヒ a (Fig. 3C) では主要成分 3 種が一致し、それらはモノテルペンの α -pinene 1 と、セスキテルペンの T-muurolool 6 および α -cadinol 7 であった。ヒノキチオール 4 はタイワンヒノキの精油には少量含まれていたが、ヒノキでは極微量であった。一方、古木 a (Fig. 3A) には α -pinene 1 が存在せず、最多成分はモノテルペンの 1, 8-terpin またはその水和物 (以下 1, 8-terpin とする) 3 であった。また、微量のヒノキチオール 4 が検出されたが、ヒノキも極微量のヒノキチオール 4 を含むので⁴⁾、これのみをもって古木 a をタイワンヒノキと同定することはできない。さらに古木 a から微量の hinokinin 8 が検出され、ヒノキ a からは明確なピークとして検出された。hinokinin 8 はヒノキの成分として古くから知られているリグナンであり^{3, 17)}、長い間タイワンヒノキからは検出されなかった。しかしながら、2002 年になってタイワンヒノキにも極微量含まれていることが報告された¹⁸⁾。したがって、古木 a から微量の hinokinin 8 が検出されたからといって、古木をヒノキと同定することも妥当ではない。

古木 a の特徴はタイヒ a およびヒノキ a の主成分の一つである α -pinene 1 が検出されず、タイヒ a およびヒノキ a には含まれない 1, 8-terpin 3 が主成分として検出されたことである。1, 8-terpin 3 は水和しやすく、水和物は抱水テルピン (terpin hydrate) として医薬や香料原料用に有用であったため、 α -pinene 1 を硫酸、硝酸または塩酸等で処

Fig. 2. SEM images of weathered wood a, *Chamaecyparis obtusa* a and *C. obtusa* var. *formosana* a.

Legend: X. cross (transverse) section; R. radial section; T. tangential section.

理する製造方法が古くから研究されている^{19, 20)}。また、 α -pinene 1 の硫酸による水和反応において、1, 8-terpin 3 とともに α -terpineol 2 の生成も報告されている²¹⁾。反応機構は不明であるが、古木は約70年間の雨曝し中に α -pinene 1 や α -terpineol 2 が1, 8-terpin 3 またはその水和物である terpin hydrate に変換したものと考えられる。化合物 3 については今後標品を用いて詳細に検討する予定である。いずれにしても α -pinene 1 や α -terpineol 2 はタイワンヒノキとヒノキの両方に含まれているので、古木の1, 8-terpin 3 のピークについてタイワンヒノキ由来かヒノキ由来かを判断することはできない。以上のことから、ジクロロメタン抽出物の GC/MS 分析によっては古木の樹種を特定することはできなかった。

3.3 呈色反応

ヒノキチオール-鉄(Ⅲ)錯体を抽出したジクロロメタン層 (CH_2Cl_2 layer I) の写真を Fig. 4 に示す。ヒノキチオール標品 (Fig. 4 I-1) およびタイヒ a (Fig. 4 I-2) は濃赤色に着色したのに対し、古木 a (Fig. 4 I-3) は淡い赤色であり、ヒノキ a (Fig. 4 I-4) は古木よりさらに淡い赤色であった。したがって、この結果からも古木の樹種判定は困難であった。

そこで古木の約70年間の雨曝しの模擬実験として、ヒノキ a およびタイヒ a の木粉に対して水中での超音波処理を行った (Fig. 1B)。その処理物を木粉と水抽出部に分離し、それぞれについて鉄呈色反応を行い、ジクロロメタン抽出液 (CH_2Cl_2 layer II および III) を観察した。その結果を Fig. 5 に示す。タイヒ a の残渣木粉および水抽出液からの CH_2Cl_2 layer II (Fig. 5 II-1) および III (Fig. 5 III-1) はいずれも赤く着色し陽性であった。一方、ヒノキ a の場合、残渣木粉からの CH_2Cl_2 layer II (Fig. 5 II-2) は淡い赤色であったが、水抽出液からの CH_2Cl_2 layer III (Fig. 5 III-2) はほぼ無色であった。したがって、タイヒ a 中のヒノキチオール 4 は、水中での超音波処理により一部が水に抽出されることが分かった。これに反し、ヒノキ a の場合、水中超音波処理でヒノキチオール 4 が水に溶出しても極微量であるため呈色が確認できない可能性があるが、鉄呈色成分 (Fig. 4 I-4) はヒノキチオール 4 以外の水中超音波処理によっては水に抽出されない成分である可能性も考えられる。実際に、塩化鉄(Ⅲ)はフェノール類とも着色錯体を形成するので、その検出に用いられている²²⁾。このように鉄呈色反応ではヒノ

Fig. 3. Gas chromatograms of CH_2Cl_2 extracts from (A) weathered wood a, (B) *Chamaecyparis obtusa* a and (C) *C. obtusa* var. *formosana* a. Column: Neutral Bond-1, 30 m $\times$ 0.25 mm. Temperature program: 60°C for 1 min, $\rightarrow$ 5°C min $^{-1}$ to 250°C and kept for 11 min. Compound identity: 1. α -pinene; 2. α -terpineol; 3. 1, 8-Terpin; 4. hinokitiol (β -thujaplicin); 5. γ -cadinene; 6. T-muurolol; 7. α -cadinol; 8. hinokinin.

キチオール 4 以外の物質も陽性を示すため、この手法による樹種判別はできなかった。

3.4 TLC

木粉のジクロロメタン抽出物全体 (GC では分析できない不揮発成分も含む) をシリカゲルプレートに展開した。展開溶媒の検討は、トルエンと酢酸エ

Fig. 4. Ferric chloride reaction product extracted by CH_2Cl_2 . I-1: Hinokitiol reagent; I-2: *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* a; I-3: weathered wood a; I-4: *C. obtusa* a.

Fig. 5. Hinokitiol-ferric chloride reactions of CH_2Cl_2 extracts from wood meal after 10 min-ultrasonic treatment.

Legend: II-1. *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* a; III-1. Water extract of *C. obtusa* var. *formosana* a after the treatment; II-2. *C. obtusa* a; III-2. Water extract of *C. obtusa* a after the treatment.

Notes: Upper layer: aqueous layer; Lower layer: CH_2Cl_2 layer.

チルの比率を変えてスポットの分離状況を観察した。その結果、トルエンのみでは大部分の成分が原点に留まるのに対し、酢酸エチルのみではほとんどの成分の Rf 値が高くなって分離せず、スポットを全体的に分離するためには酢酸エチル 3 : トルエン 4 (v/v) の比率が最適であることがわかった。波長 365 nm の紫外線照射において、ヒノキチオール 4 は明確には検出されなかった (Fig. 6A)。ヒノキ a とヒノキ b は Rf 0.90 に小さなスポットが検出さ

Fig. 6. TLC separation of CH_2Cl_2 extracts on silica gel 60 F_{254} . (A), (C): Spots by irradiation wavelength 365 nm. (B), (D): Spots by irradiation wavelength 254 nm. Developing solvent: ethyl acetate-toluene 3:4 (v/v).

Notes: *: Japanese name of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*; **: Japanese name of *C. obtusa*.

れたのみであった。タイヒ a およびタイヒ b は Rf 0.90, 0.75, 0.52, 0.37 にスポットが検出され、これらのスポットは古木と一致した。一方、波長 254 nm の紫外線照射において、ヒノキチオール 4 はテーリングして発色した (Fig. 6B)。ヒノキ a とヒノキ b は Rf 0.82, 0.49, 0.38 に明確なスポットが検出された。タイヒ a およびタイヒ b は Rf 0.82, 0.49 にスポットが検出されたが、Rf 0.38 は明確ではなかった。古木 a でも Rf 0.82, 0.49 にスポットが検出されたが、Rf 0.38 は検出されなかった。

このように TLC プレートの 365 nm 照射と 254 nm 照射の両方において、古木 a はタイヒ a および b と一致するスポットが多く、ヒノキ a および b とは明確に異なるパターンを与えた。さらに、古木 a とは異なる門扉の異なる場所から採取した古木 b について、古木 a, タイヒ a およびヒノキ a との比較を同様に行った。その結果、Fig. 6C および 6D に示すように古木 b は古木 a およびタイヒ a と一致するスポットが多く、ヒノキ a とは異なるパターンであった。これらの結果をまとめると Table 1 のようになり、古木 a および古木 b のいずれもタイワンヒノキと同定された。

4. 考 察

組織観察、抽出成分の GC/MS 分析、ヒノキチオール鉄錯体の呈色のいずれによっても、古木がヒノ

Table 1. Rf values of CH_2Cl_2 extracts on silica gel 60 F_{254} TLC.

UV	365 nm				254 nm			
Rf values	0.90	0.75	0.52	0.37	0.82	0.49	0.38	
Weathered wood a	+	++	+	+	++	+	-	
Weathered wood b	+	++	+	+	++	+	-	
Taiwan hinoki* a	+	++	+	+	++	++	+	
Taiwan hinoki* b	+	+	+	+	++	++	+	
Hinoki** a	+	-	-	-	++	++	++	
Hinoki** b	+	-	-	-	++	++	++	

Notes: *: Japanese name of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*; **: Japanese name of *C. obtusa*, -: not detected, +: weak, ++: strong.

キであるかタイワンヒノキであるかを決定することはできなかった。水中での超音波処理で示されたようにヒノキチオールは僅かに水溶性であって、70 年以上の雨曝しによってかなりの量が古木から流出したと考えられる。GC/MS 分析で確認されたようにヒノキも極微量のヒノキチオールを含むので、その量比だけでは古木がヒノキであるかタイワンヒノキであるかを決定することはできない。ヒノキチオールの GC/MS による検出については、青森ヒバ精油中のヒノキチオールの検出に GC/MS 分析が用いられているので²³⁾、本研究の定性的な検討には支障をきたさないものと判断した。

他方、不揮発性成分を含むジクロロメタン抽出物の TLC フィンガープリントにおいては古木とタイワンヒノキとのパターンがほぼ一致し、ヒノキはこれらとは明確に異なることから古木はタイワンヒノキと同定された。この結果、タイワンヒノキは約 70 年までであれば、雨曝しの有無に関らず TLC によってヒノキとの差が明確になるという特性が示された。TLC は、ターゲットとなる化合物をあらかじめ想定し、成分の分離や反応経過をモニターする手段として多用されてきたが²⁴⁾、TLC プレートの品質改善により分離能が向上し、近年は混合物の展開パターンを比較するフィンガープリント分析が使用されるようになってきている^{25, 26)}。本研究では 365 nm 光でのスポット自体の蛍光観察と、254 nm 光でのプレート蛍光によるコントラスト観察を行うことにより情報量を増やし、古木をタイワンヒノキと同定することができた。TLC は少量の試料と溶剤で簡便迅速に行うことができ、また蛍光フィンガープリントは加熱や発色剤噴霧などの発色操作なしに得ることができるので、本研究の手法は展開溶媒を検討すれば古材に限らず各種木材の識別に有用と考えられる。なお、TLC によりヒノキと区別しうる

台湾ヒノキのスポットが複数確認されたが、これらについては今後具体的な成分同定を行う予定である。

謝 辞

ヒノキチオール鉄錯体の呈色反応については、伊東椒東北大学名誉教授に助言をいただきました。SEM 観察に関しては(株)日立ハイテクノロジーズおよび(株)石川理化にご協力いただきました。

文 献

- 1) 光谷拓実：国宝 元興寺禅室部材の年輪調査。『坪井清足先生卒寿記念論文集－埋文行政と研究のはざまで－下巻』、坪井清足先生の卒寿をお祝いする会、奈良、2010、pp. 1091-1095。
- 2) 佐藤樹里、山本博一、巽登志夫：木造建造物文化財における台湾檜利用に関する研究。『関東森林研究』59, 89-92 (2008)。
- 3) 今村博之、安江保民：『木材利用の化学』、今村博之、岡本 一、後藤輝男、安江保民、横田徳郎、善本知孝編、共立出版、東京、1983、pp. 324-399。
- 4) Fujimori, K., Kaneko, A., Kitamori, Y., Aoki, M., Makita, M., Masuda, N., Hokari, K.: Hinokitiol (β -Thujaplicin) from the essential oil of hinoki [*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.]. *J. Essent. Oil Res.* 10(6), 711-712 (1998)。
- 5) 野副鉄男：ヒノキチオールの発見からトロポノイドの化学へ。『化学教育』26(6), 422-433 (1978)。
- 6) 林 昭三：藤ノ木古墳・正倉院・桂離宮－古い木材と樹種の識別－。『木材研究・資料』25, 12-21 (1989)。
- 7) 水野寿弥子、杉山淳司：南禅寺金地院八窓席の樹種識別結果。『木材学会誌』57(1), 14-19 (2011)。
- 8) 成田廣枝、空閑重則：仙台市富沢遺跡から発掘された針葉樹埋木の精油分析および化学的樹種同定の可能性。『Biostory』12, 82-91 (2009)。
- 9) Narita, H., Sugiyama, J., Kuga, S.: Chemotaxonomical identification of Holocene bogwood recovered after 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake. *Holzforschung* 66(8), 951-957 (2012)。
- 10) Zavarin, E., Smith, L. V., Bicho, J. G.: Tropolones of Cupressaceae-III. *Phytochemistry* 6(10), 1387-1394 (1967)。
- 11) Tsiri, D., Graikou, K., Poblocka-Olech, L., Krauze-Baranowska, M., Spyropoulos, C., Chinou, I.: Chemosystematic value of the essential oil composition of *Thuja* species cultivated in Poland-Antimicrobial activity. *Molecules* 14(11), 4707-4715 (2009)。
- 12) 高橋美貴、井上重治、安部 茂：日本産樹木精油15種の組成と抗真菌活性。『*Aroma Res.*』12(3), 261-267 (2011)。
- 13) 大平辰朗、谷田貝光克、糸屋吉彦、中村松三：Efficient extraction of hinokitiol from the wood of hiba with supercritical carbon dioxide. 『*木材学会誌*』42(10), 1006-1012(1996)。
- 14) Adams, R. P.: "Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy". Allured Publ. Corp., Carol Stream, IL, 2001。
- 15) 佐伯 浩：ヒノキ。『木材の構造 走査電子顕微鏡図説』、日本林業技術協会、東京、1982、pp. 42-44。
- 16) 佐伯 浩：タイヒ。『木材の構造 走査電子顕微鏡図説』、日本林業技術協会、東京、1982、pp. 126-127。
- 17) 慶松勝左衛門、石黒武雄：樹脂成分の研究（第七報）：ヒノキシニンの構造に就て。『*薬学雑誌*』56(2), 103-118 (1936)。
- 18) Kuo, Y. H., Chen, C. H., Lin, Y. L.: New lignans from the heartwood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. *Chem. Pharm. Bull.* 50(7), 978-980 (2002)。
- 19) 密田善次郎：抱水テルペン製造試験成績報告。『*薬学雑誌*』No. 481, 235-240 (1922)。
- 20) 雨宮登三、小口勝也：抱水テルペンの合成（第1報） 硫酸法の反応条件。『*工業化学雑誌*』53(2), 87-89 (1950)。
- 21) Charlton, R. W., Day, A. R.: Isomerization and hydration of pinene. *Ind. Eng. Chem.* 29(1), 92-95 (1937)。
- 22) Soloway, S., Wilen, S. H.: Improved ferric chloride test for phenols. *Anal. Chem.* 24(6), 979-983 (1952)。
- 23) 酒井温子：金属を含有させたヒバ精油の木材防腐防蟻性能。『*木材保存*』37(5), 221-228 (2011)。
- 24) 澤 裕治、笹谷宜志、小澤修二：サワシバ *Carpinus cordata* Blume 材の抽出成分。『*北海道大学農学部邦文紀要*』16(2), 183-193 (1988)。

-
- 25) Hajimehdipoor, H., Khanavi, M., Zahedi, H., Abedi, Z., Kalantari Khandani, N., Adib, N., Pirali Hamedani, M.: Fingerprint study of *Thymus* spp. By TLC. *J. Medicinal Plants* 8 (31), 19-24 (2009).
- 26) Vandana, Arora, S.: Comparison of TLC fingerprint profile of different extracts of *Embelia ribes*. *Int. J. PharmTech Res.* 2(4), 2438-2440 (2010).