

文化財収蔵庫用建築材として使用される国産杉材の試験法に関する検討

佐野 千絵・日下 光彦*・三輪 嘉六*・三浦 定俊

1. はじめに

文化財収蔵庫は、文化財の長期保存を目指して文化財を収蔵する施設であり、その保存環境は展示区画に比較して慎重に検討されるべきものである。文化財の種類は多岐にわたり、その材質・構造への影響は一様ではないが、壁材として文化財収蔵庫内で使用される材料に対しては保存科学上求められる条件は、温度・湿度変化を緩和する能力と、予定外に文化財が衝突した場合に衝撃を緩和する能力、また庫内を汚染しないことである。可能であれば、色味としては明るい方が散乱光を利用でき不要に照度を上げずにすむため、より望ましいと考えられる。また、建材としての安定性や耐火性能は当然の要件であり、特に高湿度・乾燥条件に長期に陥ることもあり得るため、寸法安定性については注意を要する。

このような条件を満たす壁材として吸放湿性能に優れた各種材料が新規に開発されており、これらの製品は工業生産品として一定規格で一定の品質のものが多量に、確実に期日までに準備できるという利点も多く、すでに多数の博物館施設での実績もある。しかしまた、セルロースを基材とする木材は窒素酸化物吸着能などに優れ、歴史的に見てもその安定性・保存性への信頼は高く、いまだ多数の施設で利用されている。一方、それら木材による庫内汚染の報告もいくつかあり、その材料としての能力をいかに評価するか、検討が必要な段階にある。

木材利用に関する研究ではすでに、木材の水抽出液は酸性でpHはおおよそ3～7の範囲にあること、また熱帯産材には日本産材よりもややpHの低いものが多いことが知られている。また、水溶性有機酸を多く含む材や、海水などに由来する塩を含む材などが高い含水率になりやすい状態で金属に接触すると、腐食が促進されることが知られている。この主たる要因は酢酸といわれ、ヘミセルロース中のアセチル基が加水分解を受けて酢酸として遊離したものととの報告がある。また、高温で人工乾燥した材では多量に生成した酢酸の一部が材の内部に残留し、天然乾燥材よりも問題を起こしやすいと言われる³⁾。また、ヤニ分の多い材では金属表面の汚損が疑われ、以上のことから、「文化財収蔵庫には、可能ならば国産の杉で、白の節なしを通風乾燥で」との定説があった¹⁾。これらの報告にもかかわらず、これまでに報告された文化財収蔵庫の汚染事例では木材の出所来歴が不明で、またすでに収蔵庫として仕上げられた状態での試験であり、本当に木材からの汚染ガスかどうかについては疑いの声が生産者や建築業者からあった。

平成17年度の開館を目指して建築中である「九州国立博物館（仮称）」においては、より良い収蔵環境を目指して収蔵庫により適した杉材の選定方法を研究することとなり、当所と協力して研究を開始した。本報告では、杉材の庫内汚染可能性についての研究の進捗状況について述べる。

2. 実験方法

2-1. <実験1> 板材からの有機酸放散量の定量

予備実験として、木材として切り出した時期や乾燥方法について情報があつた小国産杉材2種（白・源平^{注1)}、板目方向、9.4cm×15cm、厚さ1cm）および参照試料として吉野杉材（白、

* 独立行政法人国立博物館九州国立博物館（仮称）設立準備室

^{注1)} 色味の白いものを白、芯に近く赤い色味を赤、その中間部位を源平と呼ぶ。

来歴不明, 10cm×15cm, 厚さ0.8cm) について気中への有機酸放散量の定量を行った。試験材料は業者側の持ち込みで(平成13年初, 富士精工), ある博物館での使用を予定していたものであった。

放散実験は板材表面からのみの放散を想定し, 35cm×35cm×30cmh(容積36.75ℓ)のステンレスチャンバー内に7枚を貼り込み, 乾燥窒素ガスにチャンバー内を置換した後, 恒温機内で常温に3週間放置して空間内濃度を飽和させた(試験温度約23℃)。試験空間内空気を0.15ℓ/分で吸引して純水2ml中に10ℓ通気後, 試験液中にとけ込んだギ酸・酢酸を有機酸分析システム(島津製作所製, カラムShim-pack SCR-102H使用)で分析, 定量し, 気中濃度に換算した。

2-2. <実験2>履歴の明確な木材の冷水抽出成分のpH測定および有機酸量定量

試験に用いた杉材は, 九州国立博物館の収蔵庫内部仕上げ工事の建築用材として候補に挙がっている九州産日本杉産地である八女(福岡県, 品種アヤを指定), 日田(大分県, 品種ヤブククリを指定), 玖珠(大分県, 品種ヤブククリを指定), 小国(熊本県, 品種ヤクノシマ・ヤブククリを指定)産のものである。各地域の場所, 月別平均降雨量および月別平均温度を図1~3に示す。それぞれ北斜面(日当たりが良くない)・南斜面(日当たりが良い)で樹齢60年前後の材を指定

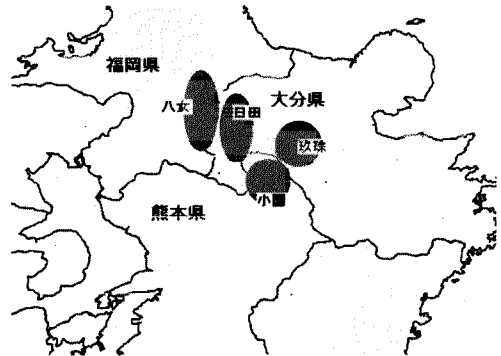


図1 九州国立博物館収蔵庫内部仕上げ材として候補に挙がっている日本杉産地分布

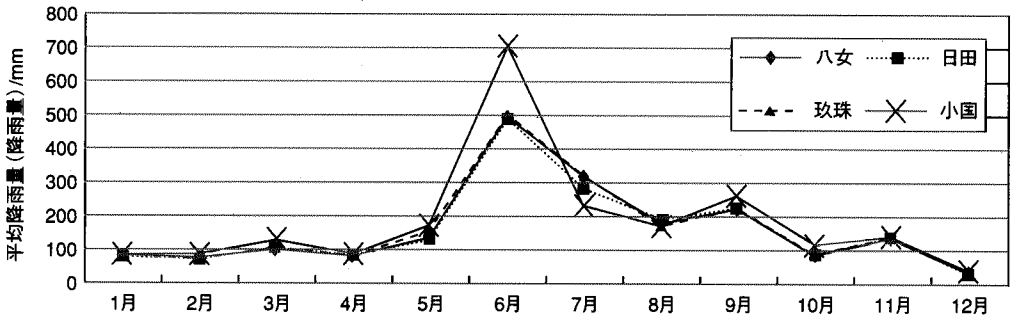


図2 各産地の月別降雨量(合計)/mm

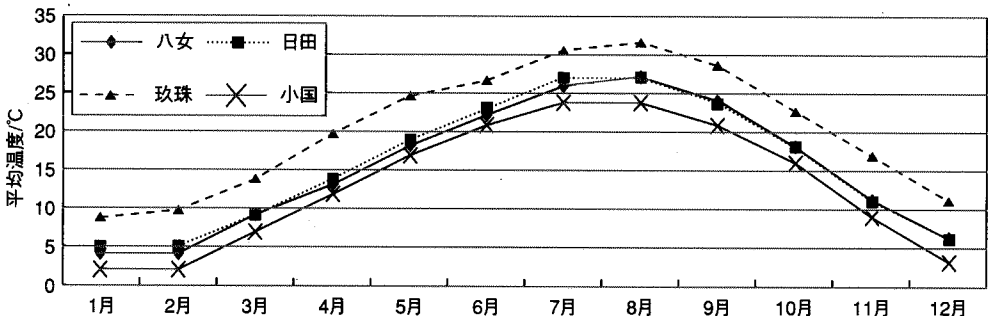


図3 各産地の月別平均気温/°C

し、立木の根から1 m高さで切り、伐採直後にスライスした。抽出成分のpH測定用としてチップ材(100mm×10mm×15mm厚さ)を3個、その後の乾燥方法による変化を検討するための板材(100mm×150mm×15mm厚さ)を3枚取った。真芯をNo.1とし、白太(外周)に向かって2, 3, 4~10と番号を付け、乾燥させずに袋詰めした。木の南向きと北向きの2セットを、1本の木から採取した(図4)。

これらの試料を至急搬送し、実験室内で板材は通風乾燥した。pH測定用の試料には真芯部および最外層(白太附近)を選んだ。材の部位による相違を検討するため、一部の試料では真芯部、白太附近のほか、その間にはさまれる部位を試験した。また、通風乾燥による影響を知るため、室内で乾燥開始後1週間後に再度試験した。

チップ1本が約1 gであり、これを板やすりで100メッシュを目指してすり下ろした。木材化学関係の成分抽出法ではチップに砕き、あるいはのこ引きして、その後粉碎、脱気乾燥して60~80メッシュにそろえて分析試料とするのが通例であるが、今回は揮発成分を対象としており、加熱昇温による飛散をおそれ、人力ですり下ろし、脱気乾燥も避けた。粉体試料に10 mlの純水を加え、ラップで封をして1分超音波抽出、9分静置、サンプル調整後10分で抽出液のpHを測定した(東亜電波工業社製、pHメーターHM-12P、精度±0.02)。校正は中性リン酸塩標準液(pH6.86, 25℃)およびフタル酸標準液(pH4.01, 25℃)を用い、2点校正した。また、得られた抽出液を0.45 μmのフィルターでろ過後、有機酸分析システム(島津製作所製、カラムShim-pack SCR-102H使用)、およびイオンクロマトグラフIC-7000D(横河HP社製)で抽出イオンを定量した。

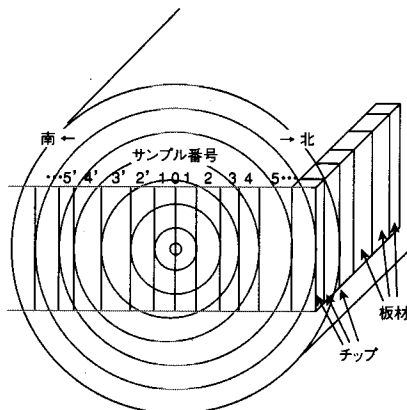


図4 試験木材のサンプリング番号(真芯を0番とする)

3. 結果と考察

3-1. <実験1>板材からの有機酸放散量の定量

結果を表1に示す。吉野産杉と小国産杉(源平)の放散量には差がなかったが、予想に反して小国産杉材(白)からのギ酸・酢酸放散量が多いことがわかった。使用予定の空間の壁面積/部屋容量比に比べて(表2)、今回のチャンバー試験はArea/Volume比が小さい(吉野杉に対して0.029, 小国杉に対して0.027)ので単純に放散量から推定気中濃度を予測することはできないが、使用量が増加して気中への放散量が単純に増加したと仮定して試算すると、これらの木材を使用して作成した保管庫内の気中濃度は表3のようになった。この結果によるといずれの材料も差がなく、同等にシーズニング期間が必要であることがわかった。すなわち、国産杉材であれば、産地に関係なく使用できるのではないかと

表1 板材の気中への有機酸放散量(飽和)

	ギ酸 気中濃度ug/m ³	酢酸 気中濃度ug/m ³
吉野産杉1	13.5	43.1
吉野産杉2	8.2	30.8
小国産杉源平1	15.3	29.4
小国産杉源平2	13.4	36.7
小国産杉白1	20.3	76.7
小国産杉白2	20.1	91.4

表2 板材を使用予定の各室の条件

	壁面積/m ²	天井面積/m ²	部屋容積/m ³	(w+c)/volume*
前室	74.1	29.5	124.1	0.84
一時保管庫	146.3	70.6	317.5	0.68
収蔵庫	267.6	208.6	938.8	0.51

* w:壁, c:天井, volume:部屋容積

と推定した。しかし木材の種類や乾燥方法など、来歴についての情報が少なく、より詳細な検討が必要であると考える。

3-2. <実験2>履歴の明確な木材の冷水抽出成分のpH測定および有機酸量定量

伐採直後および風乾1週間後の冷水抽出液のpH測定結果を図5に示す。小国産品種

ヤクノシマ試料を除き、いずれの産地の試料も白太附近（最外層）抽出液のpHが低かった。この傾向は風乾1週間後も同様であったが、日田産・玖珠産についてはいずれの部位も中性に近づき、揮発性の高い物質が放散したことがわかる。また、日田、玖珠産の材のpHが中性に近いことがわかった。

ギ酸	吉野産白	小国産源平	小国産白
前室	316.6	447.3	628.1
一時保管庫	259.1	366.0	514.0
収蔵庫	192.4	271.8	381.7
酢酸	吉野産白	小国産源平	小国産白
前室	1079.6	1027.4	1192.8
一時保管庫	883.5	840.8	976.1
収蔵庫	707.8	624.3	724.8

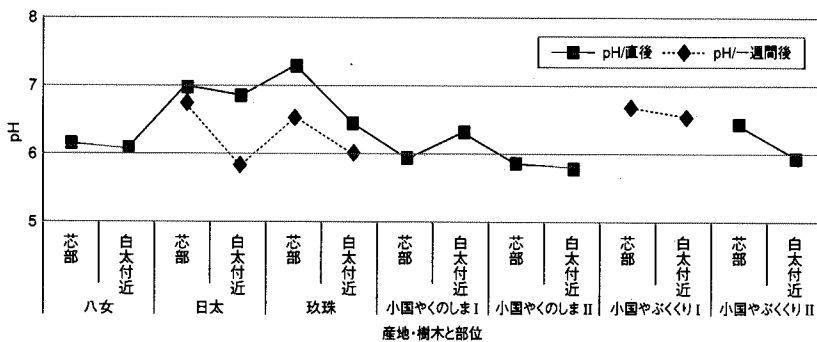


図5 杉材抽出液のpH推移

抽出成分の有機酸量の比較図を図6～図9に示す。定量されていない成分も多いため、横軸は溶出時間とし、同定されているピークについては物質名を付記した。また、縦軸は比較のためピーク面積であらわした。ギ酸・酢酸の定量結果については、表4にまとめた。

日田産（図9a）および玖珠産（図7）については、伐採直後の最外層では抽出成分中ほとんど有機酸は存在しなかった。真芯部については、いずれの材もギ酸・酢酸を含むが、この量の差がどのような意味を持つのか、現段階では不明である。また小国産の2品種の差は、確実にあるが、個体差内と考えている（図8a・b）。

日田産杉材を1週間風乾すると、図9のように有機酸量は全体に増加した。ギ酸については、表層を除き大差ないが、酢酸増加量は部位ごとに異なり、表層はもっとも少ないものの、表層に近い部分で最多となった。

イオンクロマトグラフによる抽出液の分析では、Na, K, Mg含有量に若干の差が生じたが、特に酸性度などに影響する因子（SO₄²⁻など）についてはほぼ同量であった。

これまでの結果をまとめると、伐採後の材では、産地と品種、部位により以下の傾向があることがわかった。

- 芯部
 - ギ酸量 小国（ヤクノシマ），日田>玖珠，小国（ヤブククリ）>八女
 - 酢酸量 八女>小国（ヤブククリ）>日田，小国（ヤクノシマ）>玖珠
- 表層部
 - ギ酸量 小国（ヤブククリ）>小国（ヤクノシマ），八女>玖珠，日田
 - 酢酸量 小国（ヤブククリ）>小国（ヤクノシマ），八女，玖珠，日田

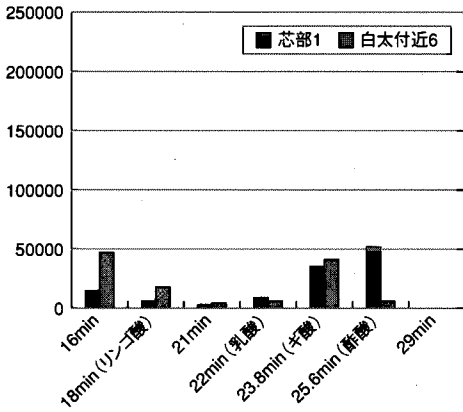


図 6 冷水抽出液中の有機酸組成 (八女産・伐採直後)

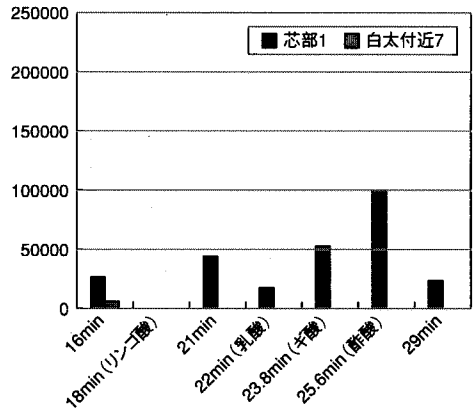


図 7 杉材抽出液の有機酸組成 (玖珠産・伐採直後)

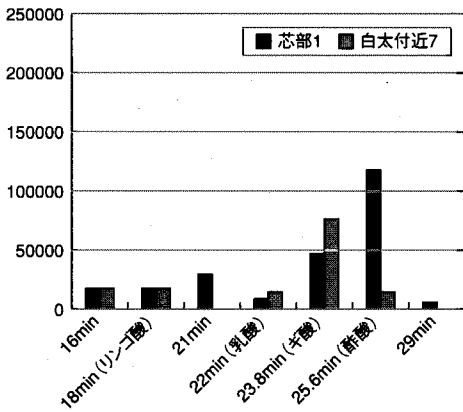


図 8 a 杉材抽出液の有機酸組成 (小国産・ヤブクク)・伐採直後)

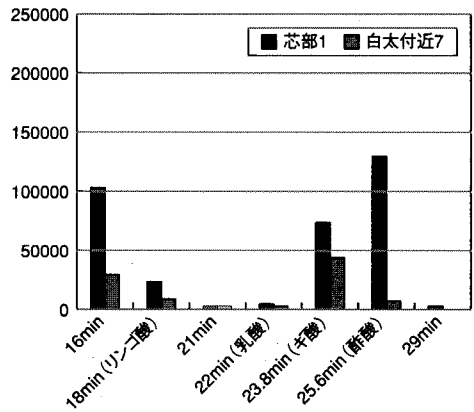


図 8 b 杉材抽出液の有機酸組成 (小国産・ヤクノシマII・伐採後 1 週間)

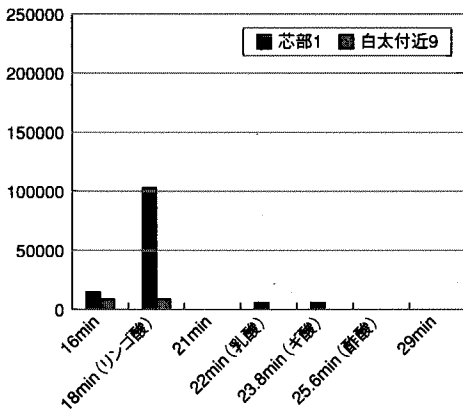


図 9 a 杉材抽出液の有機酸組成 (日田産・伐採直後)

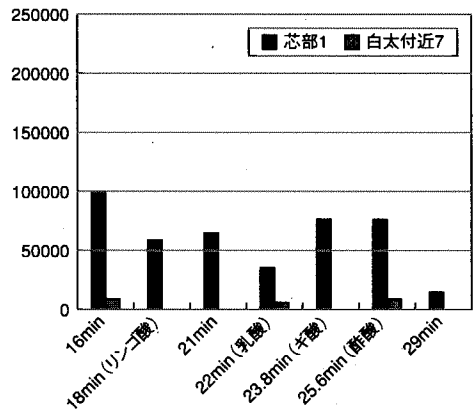


図 9 b 杉材抽出液の有機酸組成 (日田産・伐採一週間後)

表4 木材からの有機酸抽出量 ($\mu\text{g}/\text{g}$ 材料)

<八女>	芯部			白太附近8
ギ酸	20			24
酢酸	43			5
<日田> 芯部	辺材4	辺材7	白太附近9	
ギ酸	48	44	40	0
酢酸	64	144	187	7
<玖珠>				
ギ酸	33			0
酢酸	84			0
<小国>	芯部			白太附近8
ギ酸	40			35
酢酸	107			8

表5 九州国立博物館に使用する予定の杉材乾燥方法

		八女	日田	玖珠	小国
蒸気式乾燥	高温	△	△	△	
	中温	○	○	○	
高周波・ 蒸気複合式 乾燥	高温	△			
	高温+高周波	△	△	△	△
	中温	○*			
	中温+高周波	○*	△	△	△

○:使用予定の条件

△:試験予定の条件

* 板材は蒸気式(中温)の予定だが、柱材は高周波蒸気複合式(中温)を予定している。

一般に、辺材と心材と抽出成分組成が異なることがわかっており、辺材部にはデンプン・脂肪が多く、心材部にはより多くの抽出成分があり、その中で特にフェノール性物質(精油などの主成分となる)が多く存在するといわれる³⁾。ヘミセルロース中のアセチル基が加水分解を受けて酢酸が生じるといわれていたが、木材中のヘミセルロース含有量は、若干の違いはあるものの心材と辺材で大差はないと報告されている²⁾。そのため、これほどの生成量差がなぜ生じたのか説明できない。

一方、悪臭材とは貯木中に微生物による劣化などを受けた結果、悪臭を放つようになった材の呼び方であるが、その原因の研究結果から、比較的単色で、軽く柔らかい材が悪臭を生じやすく、木材腐朽菌にも侵されやすいことが知られている³⁾。でんぷん量が多く、精油量が少ない部位ほど微生物に侵されやすことを考えると、心材よりも辺材あるいは辺材に近い部位での微生物劣化が進み、デンプンを原料とした分解の結果から、より多量の酢酸が生じたのではないかと推定している。目視によると、日田、玖珠産の材料は白味で軽く、一方、八女、小国産の材は精油分が多く、重厚である。より精油成分の少ない日田、玖珠産の材料の方が、乾燥方法や貯木場所の影響を受けやすいのではないかと考えている。また、白のむく材は微生物被害を受けやすく、最終的に酢酸放散量が増加することが予測され、その使用についての是非を再検討する必要があることがわかった。

4. ま と め

九州国立博物館の収蔵庫内部仕上げ工事の建築用材として候補に挙がっている九州産日本杉産地である八女、日田、玖珠、小国産杉材について、その冷水抽出成分のpHおよび有機酸組成量について検討した。伐採直後では軽くて白味の板材である日田、玖珠産杉板抽出液のpHは低かったが、有機酸量は少なかった。しかし通気乾燥1週間後には、これらの白味板材抽出液のpHは中性に近づき、逆に有機酸量は増加した。有機酸量は辺材を含んだ、あるいは辺材に近い部位で多量であった。

しかし、抽出成分量は立木の高い部分ほど少ないことが知られ³⁾、同程度の樹齢の立木であってもどの程度のばらつきがあるか検討していないので、これらの差違が本当にあるかどうかについては、より詳細な検討が必要である。また、この中で比較的抽出酸成分が多い小国産杉材でも、実際に使用予定の板材の段階では吉野産杉と放散量は大きな差がないことが実験1でわかっており、今後の検討が必要であろう。

乾燥方法により抽出成分の組成・量が変わることが今回の試験でも明らかであった。今後それぞれの産地の材に対して予定されている人工乾燥方法は、表5の通りであるが、この乾燥を通して気中への放散物質の種類と量がどのように変化していくかを検討する予定である。

風乾による冷水抽出成分量の変化については、以下のように推定している。

なお、今回の試料は試験伐採として含水率の高い生木での試験である。建築に際しては、人工乾燥木材を使用する予定であり、今後は予定している乾燥条件（表5）で人工乾燥させた試料に対して、ギ酸・酢酸などの有機酸が気中にどの程度放散するか検討する予定である。

また、収蔵庫使用材としては、有機酸の他、ヤニ量についての情報も重要であり、今後その試験方法について検討する予定である。

引用文献

- 1) 登石健三, 見城敏子: 第2節 空気法染, 第7章 美術工芸品の環境科学と対策, 『美術工芸品の保存と保管』, 田邊三郎助, 登石健三監修, 西川杏太郎編集, (1994), フジテクノシステム
- 2) 原口隆英ほか, 『木材の化学』, (1985), 文永堂
- 3) 今村博之ほか, 『木材利用の化学 - 付. 抽出成分・pH一覧表-』, (1983), 共立出版

キーワード：収蔵庫内装仕上げ材 (finishing materials for museum storage)；九州産杉板 (cedar wood panel planted in Kyushu district)；酸性度 (acidity)；室内汚染 (indoor air pollution)

A Study on the Possibility of Indoor Air Pollution from Wood Panels Used for the Interior Finishing of Museum Storage

Chie SANO, Mitsuhiro KUSAKA*, Karoku MIWA* and Sadatoshi MIURA

In order to prevent damage to museum objects, it is necessary to evaluate the possibility for indoor air pollution induced by interior materials used in storage. We planned to test the possibility that Japanese cedar wood panels, which are considered to be used as interior finishing materials in the Kyushu National Museum (provisional) now under construction in Fukuoka prefecture, may cause problems. Two trees over sixty years old were chosen from various districts and then, a block of wood was cut from each tree. pH and carboxylic acid quantity of cold water extraction were measured to observe the differences between sapwood and heartwood.

Just after logging, pH of the extraction from a whitish heartwood panel was low. After 1 week of drying in room condition, pH was neutralized in all samples, but the quantity of carboxylic acids increased, especially in the panel from sapwood. There was only a slight difference in the amount between places of production because each place was not so far from the other. All the wood panels are now undergoing accelerated drying processes and some change in the amount of acidic compounds is expected. Next, we plan to continue our experiment to evaluate the possibility for pollution from dried wood panels.

*Kyushu National Museum (Provisional)