

木造建造物文化財に使用する立木の評価に関する研究  
－ 製材品の規格および材質を推定する手法について －

Study on Evaluating a Standing Tree Used  
for Wooden Cultural Buildings – About the  
Method to Presume Size and Quality of the  
Timber –

佐藤 樹里・山本 博一・巽 登志夫

Sato, J., Yamamoto, H. & Tatsumi, T.

キーワード: 木造建造物文化財, ヒノキ, 補修用資材, 立木評価

要約: 文化的・歴史的価値の高い木造建造物文化財を維持していくためには、高品質な大径長尺材の確保が必要である。しかしこのような資材の確保は、経験的な基準によって行われてきたため、補修が必要な際、効率よく確保できていない現状がある。そこで木造建造物に適用できる資材の基準を明らかにすることが重要である。本研究では、補修用資材として需要の多いヒノキを対象とし、木造建造物に使用されている原木の規格、さらに立木の規格を評価する手法を検討した。この結果、辺材幅の実測値を用いて、製材品規格の要求に応えることのできる原木規格が得られた。そして木曽の天然ヒノキ林で調査を行い、樹高曲線式と相対幹曲線式を作成し、これらの式より要求されている規格の原木が得られる立木の樹高と胸高直径を推定した。さらに文化財の構成部材の具体的な情報から、その部材を得るための立木の胸高直径を推定することができた。

Abstract: In order to continue maintaining of cultural and historically valuable buildings, it is necessary to consider stocking of large sized and high quality timber. However, it is difficult to secure the timber for repair in Japan at present because the stock of the timber is assessed

only by individual evaluation criteria. In order to maintain wooden cultural buildings, it is important to standardize the evaluation criteria. Purpose of this paper is to investigate individual evaluation criteria to selecting logs and in order to produce a timber required to maintain wooden structures. Moreover, it is intended to propose a criterion to selecting standing trees. For that purpose, we have selected logs at the timber market and have measured the size of their sapwood. The average sapwood width was calculated in order to predict a required size of a sawn timber. Then we measured the tree height and the diameter at breast height and upper parts of standing Japanese cypress trees growing at natural forests in Kiso area and using a three-order equation we have calculated their height curve and a relative taper-curve. Finally, we standardized the necessary size of the logs and the necessary size of the standing trees. As a result, we can now predict the size of standing trees as well as the size of the logs which are required to produce the wooden material requested to maintain historical wooden structures in Japan.

Keywords: Evaluating a standing tree, Japanese cypress, timber material for maintenance, wooden cultural buildings

## 1. はじめに

我が国には、文化的・歴史的価値の高い木造建造物が多数存在する。国指定の建造物文化財のうち国宝・重要文化財は2008年9月現在で4,497棟であり(文化庁, 2008), またそのうち90%は木造である。木造建造物の特徴として、長い年月を経ると腐朽する植物性の材料を使用していること、またその材料は持続的な再生産が可能であることが挙げられる。したがって木造建造物文化財を維持していくためには補修が必須であり、補修のために将来を見据えた森林管理の方法を考えていかなければならない。村田(2000)によると、国宝重要文化財建造物の保存修理は、年間約120件実施されており、文化財修理技術者が常駐する根本修理(約100年から300年毎に行われる解体を伴う規模の大きな修理)は、そのうちの1/3ほどで、ここで多くの木材が取り替えられ消費されている。実際に木造建造物文化財の主要構造部に使われる資材は、樹種について、1976年(昭和51年)から1986年(昭和61年)の国宝・重要文化財建造物保存修理における樹種別消費実績によると、ヒノキの消費量が最も多く、次いでスギ、マツという

順序となっている。ヒノキの通常時の年間消費量は 100 ~ 200m<sup>3</sup> であり、これは全体の約 34% にあたる。また規格については、一般の市場には流通しない大径長尺材が要求される。さらに品質については、無節や上小節など大径木のなかでも特に高品質なものが要求されていることが報告されている。しかし、補修が必要な際、こういった資材を効率よく確保できていない現状がある。この原因として、山本 (2005a) は、木造建造物文化財の修理用資材確保という問題に取り組むにあたり、必要な資材の量と品質という文化財側の情報と文化財用資材としての要件を満たす木材をどの程度供給できるか、また、持続的に育成できるかという森林側の情報について、これまで情報交換が十分になされていなかったため、建造物文化財の維持にどんな材がどれくらい必要なのかという質問に正確に答えられないのが現状である」と指摘している。また、経験的な判断基準によって資材の確保が行われてきたため、選木の基準が明確に示されていないことなども挙げられる。したがって森林管理者側は立木を見て補修材に適しているかどうか判断ができず、本当に必要な資源を準備することが難しい。

そこで資材を使用する修理技術者と供給する森林管理者との情報ギャップを埋めるために、木造建造物に適用できる資材をどのような基準で判断したらよいかを明らかにすることが重要である。ところが製材品の規格から立木の規格を表現する方法や、部材の品質と立木の品質を結び付けるための方法は確立されていない。補修用資材を確保するには、実際に使用されている材がどのような工程により加工されるのかを考慮する必要がある。

本研究の目的は、これまでに明らかされてきた森林計測学の知見を応用して、木造建造物文化財の補修に必要な木材を森林から見出すための技術を開発することにある。具体的には、製材品 (丸太を加工して生産された製品) から原木 (丸太の状態) の規格を推定し、次いで原木から立木 (森林に生育している状態) の規格を推定する手法を確立することである。なお、本研究では木造建造物文化財に多く使用されるヒノキを評価の対象とした。

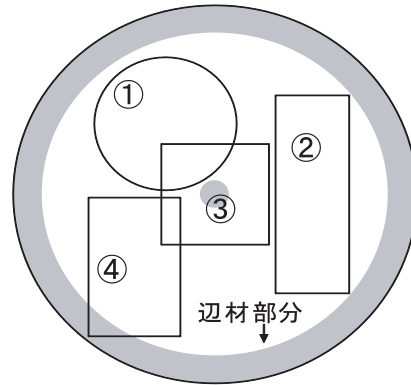


図 1. 製材品の属性

## 2. 調査地と方法

### 2.1. 製材品から立木の推定

● 製材品規格から原木規格の推定: 製材品規格から原木規格の推定に関して、採材部分に辺材部分を加えて推定する必要がある。製材品から原木の規格を推定するには以下の情報が必要である(図 1)。まず製材品が丸材(図中①)であれば直径と長さ、角材(②, ③, ④)であれば巾、厚さ、長さの情報が必要である。そしてその製材品は芯持ち(③)、または芯去り(①, ②, ④)かについて考慮する必要がある。さらに辺材を含んでいる(④)か、否(①, ②, ③)かについての情報が必要である。既往研究(高原, 2006; 津川, 2006; 後藤・山本, 2006)では、厳密な辺材幅を設けていない。従来経験的に用いられる辺材幅について、本研究では原木市場における実測値を用いた。

調査は、2007年12月に愛知県丹羽郡大口町で開催された東海木材相互市場で行った。天然ヒノキ89本を対象とし、末口と元口のそれぞれ2方向について直径および辺材幅を測定した。この測定値を基に、原木規格の推定に用いる辺材幅の基準を新たに決めた。また辺材幅と直径との相関関係について検証した。そして分布確率を調べて、推定に用いる辺材幅の値を決定した。ただし、今回測定したヒノキ原木について、産地は考慮してい

ない。

● 原木規格から立木規格の推定: 原木規格から立木規格の推定は、立木を実測して得た情報により行った。調査地は、長野県木曾郡小川入国有林 100 林班小班 1・2・3 の 10.18ha を対象とし、2007 年 10 月に測定を行った。100 林班はヒノキ稚樹の更新促進を目的とした施業実験林であり、1983 年より長野営林局によって下層ヒバの処理と上木の抜伐りが行われた林分である(三村ら, 2004)。調査地において、標準木調査を行い、ヒノキ天然木 65 個体について樹高 ( $H$ )、胸高直径 ( $DBH$ )、上部直径を測定した。上部直径の測定は、2m おきを原則とし、梢端に近い部分については目視可能な部分を測定した。これらをもとに樹高曲線 (Henrickson 式) (南雲・箕輪, 1990) と相対幹曲線 (吉田式) (南雲・箕輪, 1990) を導いた。要求される原木規格が得られる立木の  $H$  と  $DBH$  は算出した 2 つの式より推定した。

今回上部直径の推定に用いた樹高曲線式について、データのばらつきが大きい。そこでデータのばらつきに伴う、採材規格の幅を検証する必要がある。図 3 で得られた樹高曲線について、樹高曲線より上部のグループと下部のグループに分ける。それぞれのグループから得られた樹高曲線式を使用し、上部直径を推定するための表を作成した。そして、両者の上部直径に差が生じるかを検討した。

● 大径材に使用される立木の推定: 製材品規格から原木規格、原木規格から立木規格の推定に用いた方法に基づき、実際に法隆寺に使用されている柱の立木規格を推定した。木造建造物文化財の主要構造部位に使われる部材は、法隆寺部材調査 (山本ら, 2005b) の情報を用いた。

## 2.2. 調査地において大径材となるもの

一般に木造建造物文化財に使用する大径長大材の情報から立木規格を推定した。大径長大材の定義について定かではないが、本研究では大径長大材として取り上げられる規格、長さ 6m、末口径 45cm (辺材を除く) を用いた。この製材品規格に 2.1.1 で基準として採択した辺材幅と、加算部分の長さを考慮して原木規格にした。この原木規格が得られる立木の  $DBH$  を立木規格の必要条件として推定した。推定は、樹高曲線と相対幹曲線を用い

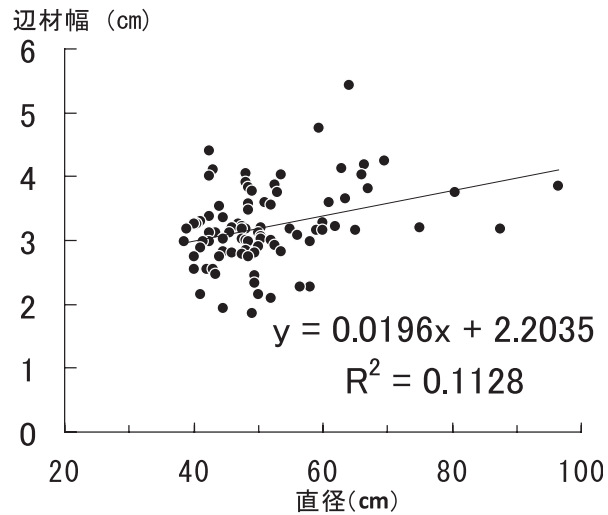


図 2. 直径と辺材幅の関係

て行った。最後に、*DBH* を基準として、必要となる大径材基準を示す表を作成した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 製材品から立木の推定

- 製材品規格から原木規格の推定: 原木ごとの直径と辺材幅の相関を調べた (図 2)。その結果、 $R^2 = 0.11$  となり、有意な相関がなかった ( $p > 0.05$ ,  $p = 0.8$ )。解析に使用する辺材幅の値を決めるため、辺材幅の分布確率を調べ、外れ値を除いた値を辺材幅と決定した。データは、正規分布に従うことが確かめられたので (コルモゴロフ・スミルノフ検定,  $p = n.s$ )、平均値 (3.2cm)  $\pm 2 \times$  標準偏差 (0.6cm  $\times 2 = 1.2$ cm) の範囲外にあるデータを除外した。よって辺材幅の値 = 4.4cm を用いて以降の解析を行うことにする。

- 原木規格から立木規格の推定: 標準木調査の結果より、ヒノキ天然木は平

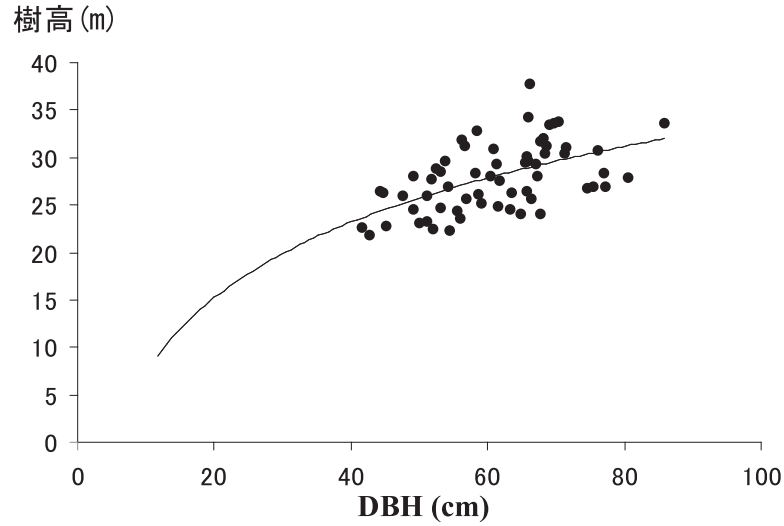


図 3. 調査地より得られた樹高曲線

均樹高が 28m, 平均胸高直径が 61.6cm であった。樹高曲線式は,

$$[1] \quad H = 11.49 \times \log(DBH) - 19.21$$

( $R^2 = 0.29$ ) が得られた (図 3)。また, 上部直径と樹高から相対幹曲線式

$$[2] \quad y = 2.2892x^3 - 4.0936x^2 + 2.9394x$$

( $y$ : 相対直径,  $x$ : 相対高,  $R^2 = 0.86$ ) が得られた (図 4)。この樹高曲線式と相対幹曲線式により, 任意の高さにおける直径を推定することができる。

図 3 で得られた樹高と直径の関係について, 樹高曲線より高いグループと低いグループに分け, それぞれ樹高曲線式を算出した。その結果, 樹高曲線より高いグループから得られた樹高曲線式は

$$[3] \quad H = 11.62 \times \log(DBH) - 17.4$$

樹高曲線より低いグループから得られた樹高曲線式は,

$$[4] \quad H = 8.419 \times \log(DBH) - 9.298$$

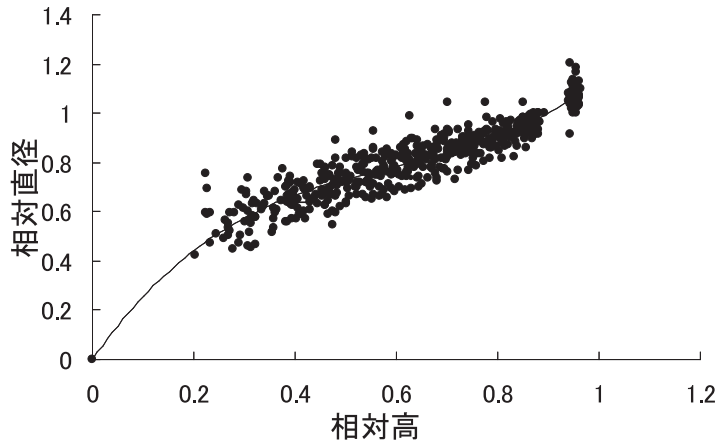


図 4. 調査地より得られた相対幹曲線

であった。これらの式より、推定上部直径を導いた。この結果、 $DBH = 60\text{cm}$  の上部直径の推定値を比較すると、地上高 6m では [3] 式より 50.7cm, [4] 式より 49.4cm と 1.3cm の差が生じた。地上高 10m では [3] 式よりグループ 45.9cm, [4] 式より 44.5cm と 1.4cm の差が生じた。また  $DBH = 80\text{cm}$  の上部直径の推定値を比較すると、地上高 6m では、[3] 式より 68.4cm, [4] 式より 66.9cm と 1.5cm の差が生じた。地上高 10m では [3] 式より 62.3cm, [4] 式より 60.4cm と 1.9cm の差が生じた。原木市場では、末口直径の計測は輪尺によって 2cm 活約で行われている。よって樹高曲線より高いグループと低いグループに分けて算出した推定上部直径に差は生じるが、この差は実用上支障をもたらすような大きな差ではなく、共通の樹高曲線を用いることにした。

- 大径材に使用される立木の推定: 以上の結果に基づき、法隆寺の中門の柱から、この柱を得るために必要な原木規格、そして立木規格を推定した。部材の情報は芯持ちの丸材で辺材を含まず、長さ 3.8m, 直径 55.0cm であった。削りしろの部分想定し、長さ 3.8m, 末口直径 60.0cm を製材品規格とした。製材品規格を元に原木規格を推定した結果、長さ約 5m (長さ 3.8m + 加算部分), 末口直径 68.8cm ( $= 60.0\text{cm} + 4.4\text{cm} \times 2$ ) となる。こ



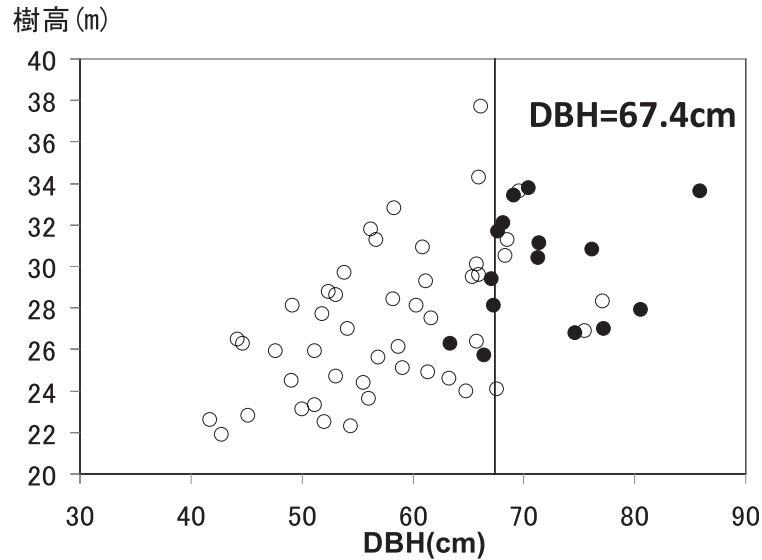


図 5. 調査地における DBH と H の関係

- : 地上高 8m において末口直径 53.8cm を満たすもの.
- : 地上高 8m において末口直径 53.8cm を満たさないもの.

の原木を供給するのに必要な立木規格は、 $H = 31.3\text{m}$ 、 $DBH = 81.0\text{cm}$  となった。

加算部分とは、原木から製材品を推定する際、表面から判断することの難しいリスクを想定し加えている長さ 1m 程度の追加部分のことを示す。なお、削りしろの部分と加算部分は経験値を用いた。

### 3.2. 調査地において大径材となるもの

まず、2.2 に示した大径長大材の規格、長さ 6m、末口径 45cm (辺材を除く) に基づいて、この基準を満たす原木規格を推定すると、長さ 7m (6m+加算部分) の直径が 53.8cm 以上 ( $45\text{cm} + \text{辺材幅} \times 2$ ) となった。ただし、これを立木にあてはめる場合、根張りの部分を考慮しなくてはならない。根張りの高さを 1m とし、地上高 8m の立木で直径 53.8cm を満たすものを示した (図 5)。木曽の調査木のうち、この条件を満たすものは 26% で

あった。

次に、地上高 8m において、直径 53.8cm が得られる立木の *DBH* を樹高曲線と相対幹曲線より算出したところ、この値は 67.4cm となった。これを図 5 中に示した。これより、実測では *DBH* 67.4cm を満たしているが、地上高 8m において、直径 53.8cm 以下であるものが 17 本中 6 本あった。逆に *DBH* 67.4cm を満たしていないが、地上高 8m において、直径 53.8cm の条件を満たしているものは 4 本あった。

必要となる大径材基準を示すため、*DBH* を基準とし、地上高別に推定した上部直径の表を作成した (表 1)。例えば、長さ 6m、末口直径 50cm の資材のニーズがあったとき、立木規格に置き換える。すなわち、根張りを考慮し、地上高 7m で直径 50cm に対応するものを表 1 より探す。この場合、*DBH* が 62cm 以上であれば、要求する規格を満足する立木を得られるということがわかる。

#### 4. まとめ

本研究では、ヒノキにおいて辺材幅の実測値を用いたデータを使用し、実際に用いる心材部分の要求に応えることのできる原木規格が得られ、さらに樹高曲線と相対幹曲線により原木規格から立木規格を推定することができた。また *DBH* をもとに大径材となる資源を評価することで、迅速かつ簡単に要求されている規格を満たす立木を探し出すことができる。これまで構成部材の情報から立木規格について検討した例はなく、今回用いた方法は、木造建造物文化財の補修に必要な立木の確保や、そのための森林経営の指標を得る上でも有用であると考えられる。他の樹種についても同様の手法を適応することができるため、需要予測のためにも多くの情報を集めていく必要がある。

本研究の結果より、木曽ヒノキ天然林において、大径長大材として取り上げられる規格、長さ 6m、末口径 45cm (辺材を除く) の基準を満たす立木は 26% であった。しかし規格を満たせばすべて使えるわけではない。幹の形質や節・傷などの品質、そしてその程度を考慮した検証が必要である。実際にどのような品質の製材品が要求されるかということに関しては、「過

表 1. 樹高曲線式と相対幹曲線より推定した上部直径

| DBH (cm) | 高さ $h$ (m) における推定直径 (cm) |         |         |         |          |
|----------|--------------------------|---------|---------|---------|----------|
|          | $h = 6$                  | $h = 7$ | $h = 8$ | $h = 9$ | $h = 10$ |
| 40       | 32.8                     | 31.8    | 30.9    | 30.0    | 29.2     |
| 42       | 34.5                     | 33.5    | 32.5    | 31.7    | 30.8     |
| 44       | 36.2                     | 35.2    | 34.2    | 33.3    | 32.4     |
| 46       | 38.0                     | 36.9    | 35.9    | 34.9    | 34.0     |
| 48       | 39.7                     | 38.6    | 37.5    | 36.6    | 35.7     |
| 50       | 41.5                     | 40.3    | 39.2    | 38.2    | 37.3     |
| 52       | 43.2                     | 42.0    | 40.9    | 39.8    | 38.9     |
| 54       | 45.0                     | 43.7    | 42.5    | 41.5    | 40.5     |
| 56       | 46.7                     | 45.4    | 44.2    | 43.1    | 42.1     |
| 58       | 48.5                     | 47.1    | 45.9    | 44.8    | 43.7     |
| 60       | 50.2                     | 48.8    | 47.6    | 46.4    | 45.3     |
| 62       | 52.0                     | 50.5    | 49.2    | 48.1    | 47.0     |
| 64       | 53.8                     | 52.3    | 50.9    | 49.7    | 48.6     |
| 66       | 55.5                     | 54.0    | 52.6    | 51.3    | 50.2     |
| 68       | 57.3                     | 55.7    | 54.3    | 53.0    | 51.8     |
| 70       | 59.0                     | 57.4    | 56.0    | 54.7    | 53.4     |
| 72       | 60.8                     | 59.1    | 57.7    | 56.3    | 55.1     |
| 74       | 62.6                     | 60.9    | 59.3    | 58.0    | 56.7     |
| 76       | 64.3                     | 62.6    | 61.0    | 59.6    | 58.3     |
| 78       | 66.1                     | 64.3    | 62.7    | 61.3    | 59.9     |
| 80       | 67.9                     | 66.0    | 64.4    | 62.9    | 61.6     |

去 10 年間に修理が行われた重要文化財 31 棟中の 16 棟について行われた修理工事報告書について工法・技法を取り上げた内容が主であり、補足部材の取替え率やその品質について表記しているものは 16 棟中 1 棟であった。」(高原, 2006) とあるように、情報量の少ない状況が報告されている。

今後は文化財の補修用資材という観点から補修に対応することのできる立木を規格と品質の両面から評価し、それらを保有する天然生資源の可能性について追求していくことが重要である。

#### 引用文献

文化庁 (2008) <http://www.bunka.go.jp/bunkazai/index.html>, 取得年月: 2008年9月.

後藤 治・山本 博一 (2006) 歴史的建造物の木材の使われ方, pp. 18-19, 木造建造物文化財の為に木材及び植物性資材確保に関する研究, 科研費報告書, No. 17200051, 243p.

三村 晴彦・壁谷 大介・大澤 猛 (2004) 木曾ヒノキの天然更新法 (II) -小川入国有林 100 林班の事例-, 中部森林研究 52: 31-32.

南雲 秀次郎・箕輪 光博 (1990) 現代林学講義 10 測樹学, 出版社, 東京, 243p.

村田 健一 (2000) 修理用資材の調査, pp. 16-23, 大径材及び高品位材の供給に関する研究, 科研費報告書, No. 09300003, 176p.

高原 達矢 (2006) 木造建造物文化財の構成部材に関する調査・研究, pp. 20-23, 木造建造物文化財の為に木材及び植物性資材確保に関する研究, 科研費報告書, No. 17200051, 243p.

津川 素仁亜 (2006) 和歌山県福勝寺の構成部材品質についての調査・研究, pp. 24-25, 木造建造物文化財の為に木材及び植物性資材確保に関する研究, 科研費報告書, No. 17200051, 243p.

山本 博一 (2005a) 木造建造物文化財を維持するための森林資源管理, *FORMATH* Vol. 5: 25-42.

山本 博一 (2005b) 法隆寺部材調査, pp. 51-94, 木造建造物文化財の修理用資材確保に関する研究, 科研費報告書, No. 14209005, 258p.