

## ミッション5：「高品位生存圏」

### 5-4) 木づかいの科学による社会貢献

(木造建築、木質住環境、木質資源・データベース、木づかいの変遷)

五十田博、田鶴寿弥子、中川貴文、梅村研二

京都大学 生存圏研究所

我が国の適所適材の用材観や、建造物の仕口をはじめとした伝統構法は、アジア域の相互的文化交流の歴史によって培われた賜物である。木材はこれらの文化的情報を今に伝える媒体であるのみならず、年輪には古環境・気候の情報を記録している。これら木材から抽出・保存できる情報を社会に還元することで新しい持続的社会構築の糧とする必要がある。一方、アジア域における伝統的な木造建築から、最新の中層木造建築までの種々の住環境的特徴や構造的性能を評価することにより「木づかい」の理解を深化させるとともに、その知見に立脚した新しい高性能木質素材を開発・利用することにより、安心安全な未来型木質住空間の創成に貢献できる。このような立場から、本ミッションにおいては、A：木材情報の調査と保存、B：安心安全な未来型木造住空間の創成、の2つのテーマを大きな柱とし、各々に関連する以下の4つのサブテーマに沿って学際・国際・文理融合的研究を推進している。

#### 5-4-1 木の文化の調査と保存

##### 1. 研究組織

代表者氏名：田鶴寿弥子（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：今井友也（京都大学 生存圏研究所）

##### 2. 研究概要

我が国の適所適材の用材観や伝統的な木製品の数々は、国を超えた相互的文化交流の歴史によって培われた賜物であり、それらの知識なしに、我が国特有の木の文化を理解することは不可能である。本研究では、東アジアの文化財が多く保管されている欧米の美術館などとともに、貴重な木彫像をはじめとした文化財の樹種識別や学術的研究を実施することを主な課題とした。特に国内はもとより、欧米の美術館・博物館と中国の木彫像の樹種調査に関する共同研究の実施を進めた他、DNAを用いた歴史的な古材における樹種識別手法の基礎的研究についても徐々に進めている。

##### 3. 研究成果

本年度もコロナ禍により欧米や東アジア諸国の美術館への訪問調査が叶わなかった

ものの、各地の美術館・博物館などと密接にコンタクトをとりながら継続した文化財調査を進められた。

中でも出雲地方に由来するとされ、世界中に散逸した木彫像群について、それらを所有する北米のホノルル美術館・クリーブランド美術館・ロイヤルオンタリオ美術館・フィラデルフィア美術館などとコンタクトをとって年代・樹種調査を行った結果、その多くが *Magnolia. sp* であることをつきとめ、うち3点がAMS年代測定により10-12世紀の作であることを明らかにすることができた。このことにより、形態的特徴から同一グループと推定されてきたこれらの約20体の木彫像について、樹種・年代という科学的知見も付与することができ、学際研究に弾みがついた。本研究については、論文として発表できた。この調査の結果、木彫像の材料としては多くはない *Magnolia. sp* が出雲地方から出たとされる木彫像に使用されていたわけであるが、2022年度島根県の木彫像調査を開始した結果、これまでに多くの木彫像（仏像・神像）の樹種調査を完了し、そのうち仏像の調査結果については3月に論文が出版予定である。樹種調査の結果、島根県一帯の木彫像にはカヤやヒノキに加えて、*Magnolia. sp* が使用されている事例を複数発見した。これまで出雲地方の木彫像の樹種については科学的に調査された事例が大変少ないが、神話や古文書からも出雲が古代日本において特別な意味を持つ地域であったことは明確である。その出雲においては、神像についての伝承や民俗誌、あるいは生死往来の呪物としての文化が残されており、現在、*Magnolia. sp* が用材に使用された理由を中心に、科学と人文学からのアプローチによる論文を執筆中である。

今年度、国内の建造物調査において当時の木材利用や木材流通を知る上で大きなヒントをもたらすと期待されている歴史的古材を用いたDNAによる樹種識別への応用を目指した研究を継続している。まだまだ更なる実験が必要ではあるが、解剖学的特徴が酷似しており樹種判別が難しい樹種について、DNAによる樹種同定を可能とすべく、今井を中心に研究が進められている。

また、国宝如庵、松殿山荘好文亭など、茶室や近代の建造物の樹種調査なども進めており、これらの調査結果についてもデータを蓄積したのち、論文とする予定である。

文化財から得られる科学的情報は、言うまでもなく日本の歴史ならびに東アジア地域の文化を知る上で重要である。今後もデータベースの拡充にむけて尽力したい。

#### 4. 付記（関連の業績）

##### 1, 論文・紀要

- 1) 濱田恒志, 田鶴寿弥子, 島根県内に所在する木彫仏像・神像の樹種調査, 古代文化研究, 2023. 印刷中
- 2) 田鶴寿弥子, 欧米に散逸した神像群をめぐる 木材解剖学×美術史学の国際的な学際研究, 生存圏研究, 2022.
- 3) Suyako Tazuru, Mechtild Mertz, Takao Itoh and Junji Sugiyama, Wood Identification of Japanese and Chinese Wooden Statues Owned by the Museum of Fine Arts, Boston, USA, Journal

of wood science, 2022. DOI:10.1186/s10086-022-02020-x

4) Mechtild Mertz, Suyako Tazuru, Shiro Ito, Cynthea Bogel, A Group of Twelfth-Century Japanese Kami Statues and Considerations of Material Intentionality: Collaborative Research Among Wood Scientists and Art Historians, Journal of Asian Humanities at Kyushu University (JAH-Q), 127-158, 2022.

## 2. 書籍

田鶴寿弥子 ひとかけらの木片が教えてくれること 木材×科学×歴史 淡交社 2022年 8 月出版

## 5-4-2 年輪年代学ならびに年輪気候学

### 1. 研究組織

代表者氏名：今井友也（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：田上高広（京都大学 理学研究科）

渡邊裕美子（京都大学 理学研究科）

田鶴寿弥子（京都大学 生存圏研究所）

杉山淳司（京都大学 農学研究科）

### 2. 研究概要

インドネシアやミャンマーをはじめとした熱帯域における気候変動を解明する一つの手がかりとして樹木成長輪に着目し、成長輪の幅や同位体比分析による年輪気候学の基礎研究を推進した。本年度は、これまでに取得したミャンマー産チークの年輪幅やセルロース同位体比データを再整理し、ミャンマーの年輪データのもつ気候学的な意味について考察した。

### 3. 研究成果

ミャンマーはアジアモンスーンによって複雑に影響を受ける。雨季前半にはベンガル湾からの南西モンスーン、雨季后半には南シナ海からの南東モンスーン、そして乾季にはチベット高原からの北東モンスーンが卓越する。モンスーンによって齎される降水は農業を基盤とする生活にとって必要不可欠であり、気象災害を軽減するためにも過去に起こった降水履歴の理解は重要である。ミャンマーでは気象観測データが限られており、長期の降水を復元するためには代替となる降水プロキシを確立することが必要とされている。本研究では、ミャンマー・バゴー山地産のチークの年輪データ（年輪幅とセルロース同位体比）を再整理し、気象観測データと比較対比することにより、水文プロキシとしての信頼性を評価した。その結果、セルロース同位体比は雨季の降

水量と有意な負の相関を示し、当該地域で年輪同位体比が水文プロキシとして利用できることを明示できた。年層内同位体比データも含めて、現在、これらの研究成果を学術雑誌に投稿するための準備をしている。

#### 4. 付記（関連の業績、発表など）

1) Watanabe, Y., Katayama, Y., Li, Z., Nakatsuka, T. and Tazuru, S. Assessments of tree-ring intra-annual  $\delta^{18}\text{O}$  record for reconstructing hydroclimate with high temporal resolution. (投稿中)

2) Katayama, Y., Watanabe, Y., Li, Z. and Nakatsuka, T. 2022. Proxy assessments of tree-ring intra-annual  $\delta^{18}\text{O}$  for precipitation reconstruction in Ashiu Forest Research Station, Kyoto. JpGU Meeting 2022, May 29- June 3, 2022.

### 5-4-3 伝統構造・未来住空間

#### 1. 研究組織

代表者氏名：五十田 博（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：中川貴文（京都大学 生存圏研究所）

小松幸平（京都大学 生存圏研究所）

森 拓郎（広島大学 工学研究科）

荒木康弘（国土技術政策総合研究所）

北守顕久（大阪産業大学 工学部）

Que Zeli（中国 南京林業大学 材料科学与工程学院）

Yu-Lin Chung（台湾国立成功大学 建築学部）

#### 2. 研究概要

東アジア地域に共通する伝統的木造建築物の材料活用・構法・構造上の特徴に関し、その技術背景と性能への影響を科学的手法によって探求することで、木づかいに対する先人の知恵を理解し、今後の木材活用に向けた応用を検討する。今年度はコロナ感染拡大防止活動により、台湾や中国などとの活動はオンラインとして、国内で伝統的な構法に対する振動実験を実施した。また、木造建築物の実使用環境における種々の性能をセンシング技術を用いて調査する検討の一つとして、米国で実施予定の10階建て木造建築物に加速度センサーを取り付ける計画を進めるとともに、日本の建物仕様との違いについて計算により明らかにした。

#### 3. 研究成果

① 垂大斗肘木・頭貫・三本の丸柱で構成された伝統的木造架構の実験的研究

東アジアの伝統木造建築においては、重たい屋根荷重を斗栱（組み物）を介して柱に集めて礎石に流す形式の軸組構造が数多く見受けられる。本研究の目的は2つあり、斗栱のみならず我国の木造建築で古代から使われている頭貫の存在価値とその仕様の違いが、柱の傾斜復元力に及ぼす影響を明らかにすることを研究目的の一つとした。この目的達成のため、4種類の頭貫仕様と2種類の上載荷重レベルを実験パラメータとし、大斗肘木・頭貫・3本の丸柱から構成される架構モデル試験体を作成して、鉛直油圧ジャッキによる固定荷重を斗栱に載せつつ静的正負繰り返し水平加力を水平油圧ジャッキで与えて架構の復元力特性を把握する実験を計画した。第二の目的は、架構を構成する大斗肘木、頭貫そして柱の各構造要素に働くモーメントを構造要素の要所に貼ったストレインゲージ（以下 SG と記す）で計測し、頭貫仕様の違いと上載荷重の大きさがモーメント抵抗能力に及ぼす影響を明らかにすることである。結果の詳細については付記した論文をご覧いただきたい。なお、本件は JSPS 科研費－国際共同研究加速基金 [国際共同研究強化(B) 課題番号：19KK0113 研究代表者：中川貴文]の一環として実施した。

## ② 高層木造に関する検討と加速度センサーによる損傷検知技術確立のための計測

木材を用いて6階建てを超え、10階建てを超えるような高層建築物が海外、特にオーストリア、北欧で建て始められている。日本でも10階建て程度の建築物を木材を構造成造材料として用いる検討が始まっている。日本は前記の国々とは異なり、極大地震が発生する国で、かつ高温多湿と気候条件も異なる。また、地震後には火災が発生することがあるが、建物の倒壊によって主要道路はもとより、路地等も通行不能となり、消防活動に支障をきたすことも想定され、耐火性についても厳しい規制がある。そのようななか、米国では10階建ての木造建築物を対象に振動台実験を実施し、耐震安全性を確認するとともに、損傷のない木造目指した建物の設計法の確認をおこなう予定である。日本と米国は耐震基準が異なり単純に米国の建物を日本に建てることは難しいが、10階建ての建物を対象に日本の耐震基準を満足するための変更の検討を実施した。また、実験は今年度末から来年度4月に予定されており、その建物にセンサーを設置するための計測計画を立てた。対象の建物の2月13日時点の写真を図1に示す。

米国仕様から日本で実現させるための主要な変更箇所をまとめて表1に示した。詳細は付記2の文献を参照いただきたい。



図 1 対象とした 10 階建て試験体

表 1 日米仕様比較

| 項目       | 単位            | 日本仕様         | 米国仕様         |
|----------|---------------|--------------|--------------|
| 壁厚さ      | t[mm]         | 420          | 314          |
| 壁のヤング係数  | $E_w[N/mm^2]$ | 8560         | 7039         |
| 柱断面      | bxD[mm]       | 480x480      | 311x455      |
| 柱のヤング係数  | $E_c[N/mm^2]$ | 10500        | 6550         |
| PC鋼棒     | $\phi$ [mm]   | 4- $\phi$ 40 | 4- $\phi$ 35 |
| 初期張力     | Pt[kN]        | 4680         | 1000         |
| ダンパー降伏耐力 | Py[kN]        | 156          | 31.74        |
| ダンパー降伏変位 | dy[mm]        | 3.02         | 7.62         |
| ダンパー初期剛性 | K[kN/mm]      | 51.7         | 4.2          |
| ダンパー有り   | 1次固有周期        | 1.11         | 1.69         |
| ダンパー無し   | T[sec]        | 1.51         | 1.92         |

## 2. 付記（関連の業績、発表など）

- 1) 小松幸平、北守顕久、中川貴文、中島昌一、五十田博：大斗肘木・頭貫・三本の丸柱で構成された伝統的木造架構の復元力特性と各構造要素で評価されたモーメント抵抗性能に関する実験的研究；日本建築学会構造系論文集（採用決定）
- 2) 五十田博、辻拓也：ロッキング壁を利用した 10 階建て木造の日本仕様の検討；日本建築学会学術講演梗概集、2022

## 5-4-4 未来型木造建築に資する木質材料の開発

### 1. 研究組織

代表者氏名：梅村研二（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：松尾美幸（京都大学 生存圏研究所）

趙 中元（中国 南京林業大学）

張 敏（中国 浙江農林大学）

Ragil Widyorini（インドネシア ガジャマダ大学 森林学部）

Sukma Surya Kusumah（インドネシア BRIN 生物材料研究センター）

Rahma Nur Komariah（インドネシア スマトラ工科大学）

### 2. 研究概要

未来型木造建築では、化石資源への依存を抑えた革新的技術による持続可能な木質材料の開発が求められる。昨今の世界的な森林面積の減少や低炭素化社会へ向けた様々な取り組みを考えると、農産廃棄物などの未利用リグノセルロースを木質材料の原料として積極的に利用するとともに、合成系接着剤をはじめとした化石資源由来の物質を出来る限り使用しない新たな接着技術を開発する必要がある。去年は、バイオマスを利用した接着剤として、スクロースとリン酸二水素アンモニウム（ADP）を原料とした接着剤を利用し、オイルパームの樹幹の内層部分を原料に用いたパーティクルボー

ドについて検討した。今年度は、スクロースとポリリン酸アンモニウム (APP) を原料とした接着剤を用いて合板の製造を試み、接着剤の合成条件や合板の製造条件が物性に及ぼす影響を明らかにした。また、接着剤の反応特性について、各種機器分析を用いて明らかにした。

### 3. 研究成果

合板用接着剤は、単板に塗布するためにある程度の粘度が必要である。そこで、スクロースと APP の混合比や加熱温度、加熱時間を変えてプレポリマー化を試みた。その結果、スクロースと APP の混合比を 80/20 とし、115℃で 3 時間加熱した接着剤が最も良好な接着性能を示した。また、合板の製造条件を検討したところ、170℃、7 分の条件での湿潤せん断強度は 0.81 MPa であり、中国国家規格 GB/T 9846-2015 の要求値を満たした。この接着剤の硬化特性を調べるために不溶化率を測定したところ、加熱時間や加熱温度とともに不溶化率が直線的に増加することが認められた。また、DSC や TGA 分析の結果、136～156℃付近で吸熱ピークが確認され、また 143℃付近で著しい重量減少が起こることを確認した。これらの結果は、スクロースや APP 単独の結果よりも優位に低く、プレポリマー化による反応が考えられた。NMR 分析の結果、プレポリマー化接着剤には単糖、オリゴ糖、ケトン、HMF、シッフ塩基などが確認された。これは、スクロースの加水分解、カラメル化、アマドリ転位などの複雑な反応が起こったことを示唆している。接着剤硬化物の Py-GC/MS および FT-IR 分析を行ったところ、窒素化合物とフラン化合物によるジメチレンエーテル結合の生成が確認された。今後の課題として、プレス温度を下げる方法を検討する必要性が認められた。

この他、共同研究者と研究の打ち合わせや留学生の受け入れについて協議するとともに、今後の取り組み等について意見交換を行った。

### 4. 付記（関連の業績、発表など）

- 1) Lin, QM; Zhang, X; Zhu, N; Kusumah, SS; Umemura, K; Zhao, ZY, Preparation and investigation of an eco-friendly plywood adhesive composed of sucrose and ammonium polyphosphate, Wood Material Science & Engineering, (2022) DOI 10.1080/17480272.2022.2121176
- 2) Rahma Nur Komariah, Ni Putu Ratna Ayu Krishanti, Tsuyoshi Yoshimura, Kenji Umemura: Characterization of Particleboard Using the Inner Part of Oil Palm Trunk (OPT) with a Bio-based Adhesive of Sucrose and Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP), BioResources, 17(3), 5190-5206 (2022), DOI: 10.15376/biores.17.3.5190-5206
- 3) Firda A. Syamani, Agus Z. Arifqi, Sasa S. Munawar, Sudarmanto Sudarmanto, Lilik Astari, Kurnia W. Prasetyo, Mohamad Gopar, Ismadi Ismadi, Sukma S. Kusumah, Mohd. H. Hussin, Subyakto Subyakto, Yusuf S. Hadi, Kenji Umemura: UTILIZATION OF CITRIC ACID AS BONDING AGENT IN SEMBILANG BAMBOO (*Dendrocalamus giganteus*)

Munro) PARTICLEBOARD PRODUCTION, Indonesian Journal of Forestry Research  
9(1):99-120, (2022), DOI: 10.20886/ijfr.2022.9.1.99-12