

氏名	周怡杉		
学位の種類	博士（ 学術 ）		
学位記番号	博甲第 9164 号		
学位授与年月	平成 31年 3月 25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	人間総合科学研究科		
学位論文題目	Whitening phenomenon of wood adjacent to metal components of cultural properties : Characterisation and occurrence mechanism 文化財における金属周辺木材の白色現象：特徴と発生機構		
主査	筑波大学教授	博士（学術）	松井敏也
副査	筑波大学教授	博士（デザイン学）	上北恭史
副査	筑波大学教授	博士（農学）	黒田乃生
副査	秋田県立大学教授	博士（農学）	栗本康司

論文の内容の要旨

周怡杉氏の学位論文は、建造物に用いられる金具周辺木材の白色化現象について、自然科学分析によりそのメカニズムを明らかにし、白化現象の類型化と特徴を明らかにしたものである。以下にその要旨を示す。

第1章では著者は従来知られている白色現象の原因を既往研究を挙げながら述べ、本学位論文で取り扱う木質の建造物に現れる白色化との相違を示している。木質建造物に発生する木部の白色現象は一般的に、白色腐朽菌、紫外線、可視光線といった外的要素による細胞壁の構成成分のリグニンが劣化することに原因があるとされていた。近年の研究では礎石と接する木部に発生する木材の白色現象は硫酸カルシウム ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) など無機物質が起因すると推察されている。だが著者は礎石に接していない木材に白色化が見られる現象に着目し、その場所には金属製品が木材に付帯していることに気づき、本調査を始めるにいたった。木材の白色化現象を材料科学分析などによってその物性を明らかにし、これまで知られていた白色化現象の類型化を試み、文化財の価値と劣化に及ぼす影響を評価することを目指している。

第2章で著者は茨城県水戸弘道館孔子廟を対象にして、建造物の外壁に対する元素調査と顕微観察、また取り外した長押に対する化学分析等により、金属周辺に見られる白色現象と他の部位に見られる白色現象の特徴を把握している。その結果、次のことを明らかにした。①地表から高さ70 cm以下の木質外壁には主にカルシウム、鉄、塩素、硫黄などの元素が検出され、銅製金具と接する木部は主に銅元素を検出したこと。②木材組織中に白色の沈着粒子を確認し、木材細胞壁の構成成分が劣化することにより白色変色が発生する可能性があること。③木質の白色化現象は銅元素の検出強度と相関関係があること④従来知られているリグニンのみの劣化による白色化ではなく、木材細

胞壁のセルロース、ヘミセルロース、リグニンなどの構成成分が総じて劣化していること等である。

第3章では、著者は木材組織中に見られた白色粒子を材料科学分析により同定し、Jarosite やシュウ酸銅、シュウ酸亜鉛などを検出している。これらは金属製金具の材質に起因することも明らかにした。立地が異なる建造物（千葉県富里市）においても白色化を呈するこれら無機系化合物が木材組織中に観察されること、そして木材構成成分の劣化が認められるなどを分析によって明らかにしている。

第4章では白色化現象の部位に含まれるシュウ酸イオン定量化に取り組み、試験紙を用いた非破壊検出法を検討し、成功している。それら結果から白色化が木材の立地環境に寄ることを導き、風雨や日射などの影響を受けていることを指摘した。また白色粒子の大きさと検出されるシュウ酸イオン料の関係を示している。

第5章ではこれまでの調査結果から導き出された結果から白色化機構の仮説を立て、その実証を行っている。温度 60℃、湿度 RH90%の条件の下で、Zn や Cu 元素を含浸させた木粉と木片試料を 90 日間暴露し、劣化状態を評価した。その結果、白色化の再現は暴露時間が短いため確認できなかったが、金属元素の介在により、木質成分が劣化し単糖類やシュウ酸、ギ酸などを生成することを明らかにしている。金属とシュウ酸からなると思われる結晶の生成を確認した。しかし、白色化が顕著に発現しないことから、金属周辺部の木材に見られる白色化は必ずしもシュウ酸イオンと金属イオンのみに関わる現象ではないことが示唆された。

第6章はまとめとして、各章の小結を述べながら、白色化現象を金属元素濃度と木材成分の劣化度の関係から述べている。また現行の文化財建造物における環境整備として実施されている対策への提言を行っている。

審査の結果の要旨

(批評)

従来、定説化していた木材の白色化には発生機構が異なるものがあることを歴史的建造物において見出し、金属イオンがその発現に関与し、それが木材成分の劣化を促していることを緻密な自然科学分析により明らかにしたことは高く評価できる。現場で得た成果を元に立てた仮説を暴露試験などにより検証したことからも、研究の精度は高いことが伺える。また実用化に向けた非破壊検査法の開発にも取り組み、その手法の評価を行うとともに効果を確認するなど、社会への波及効果も高い。これらの成果は歴史的建造物に使われる木材の劣化に関する重要な知見を有し、また木材科学の分野においても新たな情報を提供するものとして、重要なものである。

平成 31 年 1 月 10 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。