

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 10 月 1 日現在

機関番号：84602

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650600

研究課題名(和文)文化財美術品搬送における振動および温湿度環境の調査

研究課題名(英文)Vibration, Temperature, and Humidity Measurement in the Transportation of Cultural Property and Art Objects

研究代表者

西藤 清秀 (SAITO, KIYOHIDE)

奈良県立橿原考古学研究所・その他部局等・嘱託職員

研究者番号：80250372

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：2012年3月～2014年2月わたるTBSが主催し、全国展開した『インカ帝国展』の各会場への展示品移送時に展示品とともにデータロガーを設置し、展示品梱包箱(クレート)内の移動時の振動や温湿度を計測した。振動は人的移動、車両、昇降機材による移動、航空機への積み下ろし、航空機の発着環境、道路路面環境等のさまざまな局面において振動が生じるが、特に人的な要因が振動に大きく影響を与えることが判明した。また、梱包容器内の湿度については、季節、搬送車輛・航空機内環境が大きな影響を及ぼすと考えられた。

研究成果の概要(英文)：Data loggers measuring variations in vibration, temperature, and humidity were used during the transportation of “The Inka Empire Revealed: Century After the Machu Picchu ‘Discovery’” by TBS from March 2012 to February 2014. Causes for vibrations were the result of a wide variety of activity, from staff members carrying objects, to vehicles, an forklift, a ship, an aircraft, even road surface conditions. Most vibrations detected were either caused directly from human interaction or human operations. Temperature and humidity inside the storage crates of exhibition items were directly affected by seasonal weather, as well as conditions inside vehicles, ships and aircraft used in transport.

研究分野：考古学

キーワード：文化財 展示品 搬送・移送 振動 温湿度

1. 研究開始当初の背景

本研究は、文化財・美術品搬送時の梱包箱内で生じる振動・温湿度がいかに文化財・美術品に影響を与えるかを調査し、分析することである。昨今の地震による文化財・美術品の影響は博物館内での展示および収蔵品に対してその防御が強く叫ばれ、耐震施設の建設や免振展示ケースの導入が推進されている。しかしながら、文化財・美術品の振動による損傷の危険性は、建造物内の展示品そのものというより、展示行為時やそれらを移動させている際の損傷に起因することが多い。そのため文化財・美術品は、専門輸送業者によって梱包・搬送されることが多い。しかしその業者も長年の文化財・美術品搬送に関わってきた経験という物差しで、搬送時に生じる振動を推測し、文化財の梱包に配慮し、携わっているのが現状である。また搬送車両や梱包箱内の温湿度環境についても詳細なデータがなく、温湿度の文化財・美術品に与える影響も経験値に依存している。

現在、欧米では博物館における展示環境、特に温湿度管理の充実が、展示品貸出しの尺度になりつつある。しかし、欧米においても振動・温湿度等の輸送環境についてはほとんど研究がなされていない。それゆえ、本研究は海外に先駆けた研究であり、そのデータの価値は、文化財・美術品の移送環境を考える上で大きな意味を持つと考えられる。海外からの文化財・美術品の受け入れが多く、湿潤な環境にある日本にとって、いち早くこの輸送環境調査を実施し、データの蓄積をする必要性がある。この搬送環境調査によって、日本の文化財・美術品を取り扱う姿勢を示し、今後の文化財・美術品の移動に対する認識を変えるに足る十分なデータを入手し、新たな提言をおこなえると信じている。

平成 23 年度には奈良県立橿原考古学研究所附属博物館が主催する中国陝西省西安市にある陝西省歴史博物館での「日本考古展」の奈良からの展示品搬送に際して、奈良県立橿原考古学研究所附属博物館から陝西省歴史博物館への出展品移送の全行程に振動・温湿度計測のためのデータログを装着し、計器の作動状況を確認した(西藤・谷本他 2012)。これにより平成 24 年度からの調査研究の実施に問題はないと判断した。

2. 研究の目的

本研究は、文化財・美術品の搬送時の梱包箱(以下クレート)に対して生じる振動や温湿度を記録することにより、振動・温湿度の文化財への影響を考え、その影響の程度を探る。この研究は、文化財・美術品の搬送時の搬送手段や梱包の振動・温湿度の問題点を抽出するのが目的であり、今後の文化財・美術品の搬送に大いに貢献できる。またこの研究は、文化財・美術品の国内搬送にとどまらず、航空機を使用する海外への遠距離搬送においても振動の状況を調べる。

博物館運営の中で最も重要な役割を果たすのが展覧会を含めた展示であり、東日本・太平洋大震災以降、振動から展示品を守るべく、館の耐震構造への変更や展示ケースの免振装置の導入が叫ばれるようになった。そのような中、本研究では博物館内の展示品に関わる振動対策ではなく、文化財移送時に生じる振動の影響に注目し、研究を展開する。この研究は、以前、所属博物館から他の博物館に指定文化財を貸し出した際に、借り受け側の博物館で梱包を解いた際に発覚したその文化財の一部剥落に起因する。

全国各地の博物館は、展覧会のために頻繁に文化財・美術品の貸し借りがおこなわれているが、その文化財・美術品の搬送時に生じる振動・温湿度については科学的な数値は少なく、経験的な要素から、搬送時の文化財・美術品に注意が払われているに過ぎない。指定文化財に対しては、免震付きケースで展示や美術品専用車での移送が図られている。温湿度に対しても注意は払われている。特に振動に関して神庭信幸等(2004、2007)が調査を実施しているが、データ数に乏しい。

本研究は、展示品移動時に生じる振動やクレート内の温湿度を計測し、展示品搬送に関わる振動・温湿度の数的データを求め、文化財・美術品搬送に際して実際に生じる振動・温湿度について考えた。この振動については人的移動、車両、昇降機材による移動、航空機への積下ろし、航空機の発着環境、道路路面環境等のさまざまな局面において異なった振動が予想され、その影響も異なることが考えられた。また、クレート内の温湿度については、季節、搬送車両環境、航空機内環境が大きな影響を及ぼすと考えられた。

2008 年、壁画の保存修理に伴う高松塚古墳石室の解体では、解体された石室石材の移送にあたって、最善の注意が払われ、サスペンションの調整と運搬車両の実験的な観察がおこなわれたが、この場合は特別な処置としての振動観察であって、一般化する調査ではなかった。本研究では、上記に述べたように文化財・美術品の搬送時に生じるさまざまな振動・温湿度をデータ化することによって、文化財・美術品の搬送時における振動・温湿度の影響を考察するものであって、これは、後世の人々に我々が文化財・美術品をどのように引き継ぐかを真摯に考える調査研究でもある。

3. 研究の方法

2012 年度、国立科学博物館と TBS テレビが企画監修し、2 ヶ年にわたって全国 9 箇所で開催された「インカ帝国展」の展示品移送に際して、展示品移送用クレートに振動に関わる加速度及び温湿度を計測できるデータログを設置し、どのような振動が移送時に生じるかを記録し、さらにその際、クレートの内部の温湿度の記録もおこなった。この研究で最も重要なクレートへのデータログの設

置は、TBS、ペルー文化省、国立科学博物館、日本通運（株）、地球観測（株）の全面的な協力によってなし得ることができた。

計測に使用した振動加速度ロガは、ST Microelectronic 社の MEMS 加速度センサー（静電容量型）をベースにしたスリック製 G-MEN であり、プラスマイナス 10g の範囲で使用出来る（図 1）。また、応答周波数、最小サンプリング周期および記録容量がそれぞれ 0-200 Hz, 10 msec および 16,300 データである。この計測器は、3 軸加速度および温湿度が計測可能であり、10G 仕様のもを内蔵し、2 分間の連続振動のピーク値を記憶させ、1 時間あたり 30 点の加速度ピーク値を取得することができた。



図 1 設置したデータロガ

この『インカ帝国展』での展示品の移送には 43 のクレートが使用されたが、5 箱のクレートにおいてデータロガの設置・回収を繰り返したが、同じクレートの同じ場所に、同一データロガを設置した。データロガは、移送される展示品と同一環境である梱包箱内の展示品を保護するクッションを剝き取り設置した。



図 2 クレート内のデータロガ

2012 年 6 月 27 日国立科学博物館におけるデータロガの設置を皮切りに、仙台市博物館、山梨県立考古博物館、静岡県立美術館、富山県民会館美術館、京都文化博物館、福岡市博物館、鹿児島県歴史資料センター黎明館、そして最終の展覧会場である沖縄県立博物館美術館まで各施設でデータロガの設置・回収を繰り返し、2014 年 2 月東京を経由し、ペルー国に返却し、回収した。上記展覧会場への展示品移送は、基本的にトラックによる

陸送であったが、鹿児島ー沖縄間は海上輸送、ペルーへの返却は航空機による空輸であった。

2014 年度は過去 2 カ年の計測した詳細な記録の分析をおこなうとともに、文化財移送時に携行し記録計測をおこなったデータロガの精度の機器振動検査を奈良県産業振興総合センターの協力を得て実施した。この検査の結果、2 年間にわたって展示品の梱包箱に設置したデータロガの精度は、信頼度が高いことが裏付けられた。

但し、国立科学博物館から仙台市博物館へのクレートの移送に際して、温湿度を計測するデータロガを別途設置した。しかしながら、次の仙台市博物館から山梨県立考古博物館への移送以降は加速度計測のデータロガでもって温湿度の計測をおこなうこととし、温湿度単独のデータロガの設置は取りやめた。

振動に関わる加速度の振動評価は、JIS0232 の規定から策定された精密製品の輸送に関わる「産業用情報処理・制御機器設置環境基準」JEIDA-63-2000：平成 12 年 7 月の JEIDA-2 を参考に、激しい振動値をトラック輸送 2.5g 以上/ 船舶輸送 0.9g 以上/ 航空機輸送 2.1g 以上とした。

4. 研究成果

A. 振動

今回の巡回展の展示品の移送手段として用いられたトラック、船、航空機において生じる振動を加速度データロガを用いて計測した結果である。以下に結果から得られた特徴と問題点をあげる。

展示品の梱包されたクレートの場内移動での振動は、上下での振動も生じるものの、水平方向の X・Y 軸にも状況により激しい振動が発生している。これはあくまで人為的な要素が強く、施設の環境を十分理解し、慎重に作業に従事することによってこの種の振動は避けることが出来る。上下での振動も生じるものの、水平方向の X・Y 軸にも状況により激しい振動が発生している。これはあくまで人為的な要素が強く、施設の環境を十分理解し、慎重に作業に従事することによってこの種の振動は避けることが出来る。



図 3 クレートのトラックへの積み込み

積み込み(図3)・積み降ろしに際しての振動は、すべてのクレートに激しい振動が生じる訳ではないことが判明した。これは、この作業に用いる機材の問題だけでなく、明らかに人的な要素が要因となっている。激しい振動値は、圧倒的にZ軸鉛直方向であり、この動きは今回の事例では人が直接クレートを台車等に乗せる時、台車等から降ろす時に生じる場合と運搬車のテールゲート昇降装置のON&OFFの動作時に生じる場合がある。前者は人の一連の作業から生じ、後者は機材の性能に資するが、両者とも人の調整によりその振動を防ぐことは可能である。加えて積み込み・積み降ろしでの激しい振動が生じるクレートには特徴がある。それは最も軽量のクレートほど激しい振動値を示した回数が多く、クレート重量が積み込み・積み降ろしの作業に大きく関わっている。

さらに積み込み・積み降ろしの作業で特徴的なのはX軸・Y軸での水平方向の激しい振動値を示すことにある。それは積み込み・積み降ろしの作業において荷台や床面での引張りや押す行為がそのような結果をもたらすと考えられる。それゆえ積み込み・積み降ろしの作業で生じる水平方向の激しい振動もまた人的要素が強いと考えられる。

展示品のトラックの使用に関して今回は、大部分に美術品専用車が用いられ、一部は一般的な輸送車が使用された。その中でトラックの走行に対しては、速度が遅ければ生じる振動は少ないことが判明した。各施設から高速道路に乗り入れる前と高速道路から降りて各施設に向かう際に、一般道が用いられているが、2.5g以上の激しい振動を記録する機会は少なかった。高速道路も走行状態によって振動の頻度と強さは軽減できると考えられることが、東京-富山間や福岡-鹿児島間の場合にほとんど激しい振動は記録されていないことから明白である。これは道路の状態もさることながら走行する車輛の速度に大きく関わることであると思われる。しかし、車輛の速度と同時に荷台での展示品を納めたクレートの状態も重要である。荷台内でどのような位置に、どのように固定されているかであるが、今回の調査では明確な位置等を確認することを行うことができなかった。しかし、各クレートの重量と走行時の激しい振動値の頻度は相関的な関係があるようである。日本国内の全走行行程において2.5g以上の激しい振動値は、重量76.5kgのクレートNo.3が72回、重量42.5kgのクレートNo.5が111回、重量55.5kgのクレートNo.6が65回、重量65.5kgのクレートNo.13が79回、重量91.5kgのクレートNo.20が24回を記録している。この数値を見ると明らかに重量のあるクレートは振動頻度が、軽量のクレートに比べはるかに少ない。そのため、軽量クレートの荷台での配置や固定の仕方が重要になると思われる。

さらに車輛停車時の余分なアイドリング

は、振動値が小さいが、突然エンジン回転数が増える場合などは、注意を要する要素である。

船舶に関して航行中の振動値は、安定した穏やかな数値を示している。しかし、先にも記したが天候次第と言える。悪天候が回避できれば、文化財移送には有効な手段である。おそらく少々の悪天候でも数値はそれほど大きくならないように思われる。というのは鹿児島新港から那覇に向かう前日の25日は台風が通過した日でもあり、まだその余波が海上には残っていたと思われるにも関わらず激しい振動は認められなかったからである。

航空機による輸送は全く問題はなく、離陸、エアポケットによる落下、着陸という状況下でも振動値は大きくならない。しかしながら、航空機利用の最大の問題は、空港内の移動と機内への積み込みである。空港内の移動には搬送業者の立入りが制限され、空港内での展示品のクレートの空港内運搬車輻での積み降ろし、移動の状況を把握出来ない。結果、激しい振動値を記録したが、実際のどのような動きの中で生じたかを確認できていない。

2011年の研究(西藤・谷本他2012)を含め、現在まで5カ所の空港(関西国際、上海浦東、成田、アムステルダム、リマ)で振動値を計測した結果、各空港で短時間の間に、成田空港を除いて空港内移送中で最も高い8.0g~10.0gという数値を記録し、これは、文化財移送にとって非常に危機的な数値であり、解決すべき要素である。また、神庭・塚田等が計測したトロント空港でも10.0gに近い値が計測されている(神庭・塚田・和田・古谷等2007)。空港における荷物の移動(図4)は、ローリーと呼ばれる運搬車やローラーコンベヤーが使われているが、空港内の作業で生じる振動値が、文化財移送行程の中で最も大きな数値である事実に向け、改善をする必要がある。



図4 一般的な機内への荷物の積み込み風景

B. 温湿度

2年間にわたる展覧会の展示品移送において展示品を梱包するクレート内の温湿度を計測するデータロガの設置により、新たな知見を得たことは、今後の文化財移送時に注意を

喚起することができると思われる。

文化財の移送時には外気温度は、大きく影響を与えるということである。そのため展示品の移送手段によってクレート内の温度も異なる。トラック等の車輛は外気の温度に敏感に影響を受けるため、走行時の速度や時間帯への留意が必要であり、航空機は車輛以上に外気の影響が強い。しかし船舶(フェリー)での展示品移送は外気が船体とトラックの二重の防護が働くためクレート内温度の変化は少ない。

展示品の中で金製品などの金属製品を納めたクレートは、際立って温度に敏感と言えるが、しかし、布製品等を納めたクレートの温度の変化はあまりなかった。

湿度もまた移送時に外気に影響された。しかし、それは通年での緩やかな変化である。また展示品移送に際して、梱包された展示品の素材によって湿度変化があるのではと考えていたが、今回の調査ではコンポされている展示品ではなく、梱包材の影響による湿度変化と考えられる。

C. まとめ

2カ年、日本国内9施設を巡回し、ペルーに返却された『インカ帝国展』展示品の移送時の振動および温湿度に関わるデータを記録した結果、上記のように多くの留意点と改善点が浮かび上がった。その中ですべての激しい振動は、クレートの中の展示品に表面的な損傷はなくても、展示品にかなり負荷がかかり、将来、損傷をいつ引き起こすかわからないダメージを内紛させる。空港内での作業以外は、文化財関係者が問題点を留意することによって多くは改善されることが、数値から読み取れた。

空港内作業は、世界的に文化財関係者の注意がおよばない場所であり、非常に激しい振動値が記録されている事実から、文化財・美術品公開のグローバル化の中で大きな問題である。これには、文化財移送のマニュアルを徹底させるなど一刻も早い解決が必要である。将来、移送した際に受けた激しい振動が展示物の損傷への起爆剤的な要素とならないことを願っている。

引用文献

神庭信幸、和田浩、土屋裕子 2004「特別展などに伴う文化財の輸送時に発生する損傷の原因と防止に関する検討」『文化財修復学会第26回大会研究発表要旨集』p.22-23 文化財保存修復学会第26回大会実行委員会 文化財保存修復学会。

神庭信幸、塚田全彦、和田浩、古谷毅、今北憲、高木雅広 2007「文化財の海外輸送時に計測された各行程別の振動加速度特性」『文化財保存修復学会第29回大会研究発表要旨集』p.76-77 文化財保存修復学会第29回大会実行委員会 文化財

保存修復学会。

西藤清秀・谷本親伯・橋本裕行・菅谷文則・藤田行茂・吉仲勉 2012「奈良・西安往復における文化財移送時の振動測定」『日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集』p.78-79 日本文化財科学会・京都大学考古学研究室。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

西藤清秀・谷本親伯・橋本裕行・菅谷文則・藤田行茂・吉仲勉 2012「奈良・西安往復における文化財移送時の振動測定」『日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集』p.78-79 日本文化財科学会・京都大学考古学研究室 査読無。

〔学会発表〕(計2件)

西藤清秀・谷本親伯「2カ年にわたる『インカ帝国展』における展示品移送時の振動および温湿度環境」日本文化財科学会第32回大会 2015.07.12 東京学芸大学。

西藤清秀・谷本親伯・橋本裕行・菅谷文則・藤田行茂・吉仲勉「奈良・西安往復における文化財移送時の振動測定」『日本文化財科学会第29回大会』2012.06.26 京都大学。

〔図書〕(計1件)

西藤清秀『文化財美術品搬送における振動および温湿度環境の調査：Vibration, Temperature, and Humidity Measurement in the Transportation of Cultural Property and Art Objects』課題番号: 24650600 平成24年度～平成26年度科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究・研究成果報告書 1-143 単著 奈良県立橿原考古学研究所 2015。

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西藤清秀 (Kiyohide Saito)

奈良県立橿原考古学研究所 技術アドバイザー

研究者番号：80250372

(2) 研究協力者

谷本親伯 (Chikaosa Tanimoto)