

兵庫出石・辰鼓楼機械時計 科学調査プロジェクト

永瀬丈嗣¹ 井関崇博² 辻井浩一³ 中井淳史⁴ 井上 毅⁵ 奥田孝一⁶
兼吉高宏⁷ 塩川太郎⁸ 中嶋勝己⁹ 早稲田一嘉¹⁰ 徳網 靖¹¹

1. 緒 言

兵庫県豊岡市は兵庫県北部の日本海側に位置し、兵庫県北部地域にあたる但馬地域の中心都市であり、特別天然記念物に指定されているコウノトリとの共生を目指す町ぐるみの取り組みという世界でも類のない先駆的な試みが行われていることで有名である。豊岡市は多くの観光資源に恵まれ、代表的な観光地として、大自然を体験できる玄武洞や神鍋高原、温泉地として城崎温泉、城下町として出石などが知られている。

出石の豊岡市出石伝統的建造物群保存地区⁽¹⁾にある時計台である辰鼓楼は、伝統的建造物群保存地区のシンボルの一つとも言える重要な建造物であり、現在では4代目の電波式時計が正確な時刻を町民・観光客に知らせる役割を担っている。辰鼓楼に設置されていた機械式大時計（以後、機械時計）について、初号機は出石藩の医師の息子として生まれ明治になり出石町に医院を開業した池口忠恕⁽²⁾が寄贈して辰鼓楼に設置され、1881年9月8日から稼働したことが分かっている。時計台・機械時計としては、札幌の時計台に設置されたアメリカ製（ハワード社）の機械時計が1881年8月12日から稼働しており、これが国内最古であると認識されている。出石辰鼓楼の機械時計・初号機（以後、出石初号機）の外観図を図1⁽³⁾に示す。出石初号機は、札幌時計台の機械時計や同志社大学彰栄館・アメリカ製（セス・トーマス社）のものと外観が大きく異なり、二つの板に支柱が立てられ支柱に歯車が設

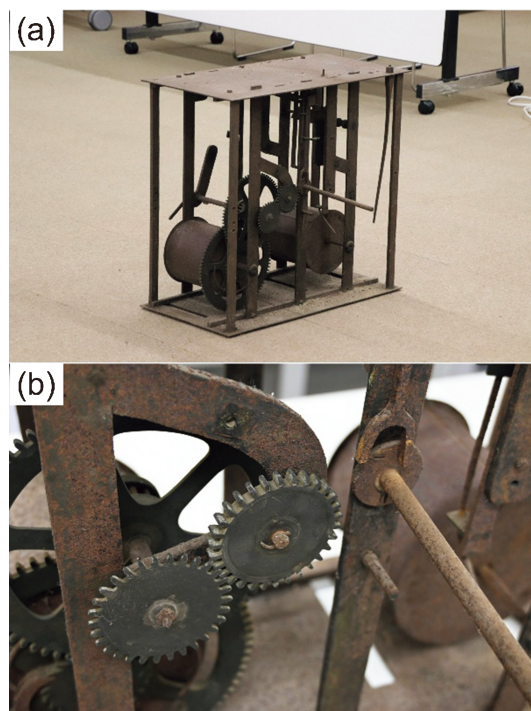


図1 出石機械時計・初号機の外観写真 (a) と現存する歯車部分の拡大写真 (b)⁽³⁾。

置される形式となっている。出石初号機は、これまで wikipedia⁽⁴⁾などでオランダ製あるいは日本製など諸説があると記載されてきたが、いずれもその根拠が明確でなかった。出石初号機の製造地同定に関して、地元の方から「金属

¹ 兵庫県立大学大学院工学研究科；教授（〒671-2280 姫路市書写2167） ² 兵庫県立大学大学院環境人間学部；教授

³ 兵庫県立大学社会価値創造機構；コーディネーター ⁴ 兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科；教授

⁵ 明石市立天文科学館；館長 ⁶ 兵庫県立但馬技術大学校；校長 ⁷ 兵庫県立工業技術センター；次長 ⁸ 芸術文化観光専門職大学；教授

⁹ 新産業創造研究機構(NIRO)；統括コーディネーター ¹⁰ 神戸市立工業高等専門学校；教授 ¹¹ 但馬国出石観光協会；理事長

Scientific Research Projects for Hyogo-Izushi-Shinkoro Old Tower Clock; Takeshi Nagase¹, Takahiro Iseki², Koichi Tsujii³, Atsushi Nakai⁴, Takashi Inoue⁵, Koichi Okuda⁶, Takahiro Kaneyoshi⁷, Taro Shiokawa⁸, Katsumi Nakashima⁹, Kazuyoshi Waseda¹⁰ and Kiyoshi Tokunami¹¹ ⁽¹⁾Graduate school of Engineering, University of Hyogo, Himeji. ⁽²⁾School of Human Science and Environment, University of Hyogo, Himeji. ⁽³⁾Institute for Innovation and Social Value Creation, University of Hyogo, Himeji. ⁽⁴⁾Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, Toyooka. ⁽⁵⁾Akashi Municipal Planetarium, Akashi. ⁽⁶⁾Hyogo Prefectural Tajima Technical Institute, Toyooka. ⁽⁷⁾Hyogo Prefectural Institute of Technology, Kobe. ⁽⁸⁾Professional College of Arts and Tourism, Toyooka. ⁽⁹⁾New Industry Research Organization, Kobe. ⁽¹⁰⁾Kobe City College of Technology, Kobe. ⁽¹¹⁾Tajimanokuni Izushi Tourist Association, Toyooka.)

Keywords: old machine clock, cultural property, Izushi, Hyogo prefecture, scientific analysis

2024年11月11日受理[doi:10.2320/materia.64.179]

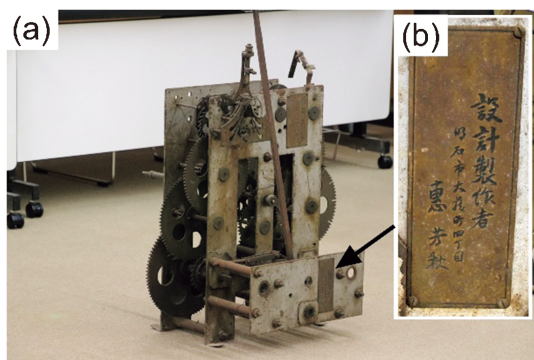


図2 出石機械時計・二号機の外観写真(a)と銘板拡大図(b)⁽³⁾。

材料の分析などから、国内製か海外製かの特定ができないかと相談」が豊岡市出石振興局にあり、この問い合わせが兵庫県立大学産学連携本部(2024.04より社会価値創造機構)によせられたことが兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトの始まりと言える。2023年からの予備調査と出石から兵庫県立大学姫路工学キャンパス(姫路)への出石初号機および図2⁽³⁾に示す出石辰鼓楼の機械時計・二号機(以後、出石二号機)の輸送、2024年6月10日のプロジェクトキックオフミーティングを経て、出石初号機の製造地解明にむけたプロジェクトが始動している。

本論文では、材料科学の観点からみた材料科学×人文科学×情報発信の組み合わせからなる異分野・多分野融合型文化財調査の新しい試み、明治期の機械・金属文化財の調査法として材料科学の新たな取り組みの観点から積層造形・3Dプリンターの適用を中心に紹介する。

2. 材料科学×人文科学×情報発信を組み合わせた新たな機械・金属調査法

調査開始前の2023年5月の時点で、出石初号機の製造地同定に関する情報として明らかになっていたのは、下記の事項である：(1)出石初号機の形状は、札幌市時計台の機械時計(ハワード社)や同志社大学彰栄館(セス・トーマス社)と大きく異なる。(2)部品の欠損が激しく、時計としての動作機構、すなわち時を刻む機構が残されていない。(3)製造地の特定につながる資料や写真などが残されていない。

一般的な考えであれば、特徴(3)に関連する資料調査などの「人文科学」的な調査、あるいは特徴(2)に関連する歯車・機構学の観点から「機械工学」の専門家から調査がはじまると考えられるが、いずれも出石初号機の製造地同定に有効ではなく、金属分析の点から調査の検討がはじまったことが、材料科学を中心として開始された兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトの特徴と言える。

文化財調査は研究用金属材料の調査とは異なる点が多く存在し、その代表は下記にまとめられる：(A)文化財の持つ価値は、物としての価値だけではない。文化財は、精神的・物質的な豊かさの基盤となる地域や国の歴史や文化そのものであるという価値があることを認識する必要がある。(B)文化

財に破損の危険性がある場合は持ち出せない場合がある。文化財に破損の危険性が無くても、地域や国の歴史や文化そのものであるため、移動や接触すら禁じられる場合がある。(C)文化財の調査では、精度よりも非破壊分析が選択される傾向が高い。破壊分析の適用は容易ではない。(D)文化財の調査が、専門家のみが特定の研究機関にて、一般市民に完全非公開で調査を実施することは望まれない。文化財の持ち出しや調査には、文化財の所有者および市民の同意のもと実施する必要がある。市民参加型の文化財調査が望ましい。

兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトでは、上述の(A)–(D)における文化財調査の特徴を踏まえ、単なる材料科学的な最先端技術の導入による調査ではなく、機械工学・機構学や人文科学との組み合わせによる多分野融合、および市民参加型の文化財調査実現のための積極的な情報公開とアウトリーチ活動を組み合わせた新たな文化財調査法、あえて名称をつけるのであれば「フルオープン・ネットワーク分析」あるいは「出石モデル」ともいうべき新たな文化財調査手法の構築を試みた。「フルオープン・ネットワーク分析」「出石モデル」の特徴は下記にまとめられる：(a)調査により得られた情報は、WEBサイトに公開を原則とする。WEB公開を行うことで、各地の様々な分野の専門家が瞬時データを共有できるだけでなく、市民の方にリアルタイムで情報を伝えることで、市民参加型文化財調査を実現する。(b)「大衆の科学理解」における情報欠如モデル⁽⁴⁾のような、情報を持つ専門家と情報を持たない非専門家の間に分断が出来る状態を避けるため、アウトリーチ活動に重点をおき、単なる調査だけではなく、教育を通じて出石機械時計の価値を伝える活用を行いながら市民参加型文化財調査を実現する。(c)3DデジタルデータをWEB公開と3Dプリンターを併用し、文化財を調査のために機械時計を現地から外部に持ち出した地域の市民の方、さらには調査に携わる各地の専門家が、実機が目前に無くてもデジタルデータを利用し、必要であれば3Dプリンターで造形物を利用できる、現実とデジタルデータが両立するデジタルツインを実現する。

兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトでは、材料科学×人文科学×情報発信を組み合わせた調査・アウトリーチ活動を実現する体制として、豊岡市、但馬国出石観光協会、兵庫県立大学、芸術文化観光専門職大学、神戸市立工業高等専門学校、兵庫県立工業技術センター、但馬技術大学、明石市立天文学館、公益財団法人新産業創造研究機構(NIRO)が参画した、出石・豊岡・姫路・明石・神戸をクラウドでつなぐ体制を構築し、調査を進めている。

3. 調査結果(2024年10月時点)

兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトでは、WEBサイトに情報を公開することでデジタルツインを実現するとともに専門家・市民が情報を共有するだけでなく、アウトリーチ活動を通じて専門家・市民が異分野の知見や機械時計の価値を学ぶ仕組みが組み込まれている。文化財を後世



図3 プロジェクトの中核をなすWEBサイト⁽³⁾。

に伝えていく次世代人材・学生の教育とWEBサイトが連動していることも特徴である。図3⁽³⁾に、プロジェクトの中核をなすWEBサイトのトップページを示す。

豊岡市は、出石機械時計の所有者である。但馬國出石観光協会は、文化財の保存と伝承だけではなく、観光資源としての活用・紹介を通じた観光文化の向上と地域の活性化を担っている。

兵庫県立大学大学院工学研究科は、全体のプロジェクトの取りまとめ、遠隔電子顕微鏡法であるNetwork tele-microscopyを利用した金属分析による製造地同定の検討とアウトリーチ活動を行っている。兵庫県立大学環境人間学部は、情報発信と情報共有の中核を担う図3⁽³⁾に示すWEBサイトの構築を行っている。単なるWEBサイトの構築だけではなく、「ときあかせ」といった専門家・市民がともにこのプロジェクトに興味をいだくキャッチフレーズの検討、専門家向けの調査結果データベースである「データアーカイブ」と専門家・市民向けのサイエンスコミュニケーションのための「記事」などの仕組みを組み込んでいる。リアルタイムで調査状況を把握できる「分析日誌」とアウトリーチ活動を記載する「アウトリーチ活動」から、日々の調査・アウトリーチ活動の状況を把握することができ、専門家・市民がともに状況を把握することができる。兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科は、文化財調査・人文科学的調査を行っている。出石初号機は、物としての価値だけではなく、明治初期における不定時報から定時法への変更という「時の概念」の変革の歴史と文化の象徴、特に但馬地域・日本海側・我が国における東京・大阪以外の地方都市での「時の概念」の変革の象徴として、人文科学的観点からの価値も極めて高いと評価される。兵庫県立大学社会価値創造機構は、県内各地の参画機関の連絡・事務取りまとめを行っている。

芸術文化観光専門職大学では、科学的調査よりも出石機械時計の存在を周知させるための宣伝活動、単純な宣伝活動ではなく3Dプリンターで作製されたレプリカを利用した科学調査と連動したアウトリーチ活動、さらには文化財調査を活かした観光振興・地域振興について検討している。まずは次世代を担う若者すなわち機械時計を次世代に継承していくべき若者に興味を持ってもらうこと、そして多くの方からの情



図4 芸術文化観光専門職大学で学生により作成されたポスターの一例。

報提供を促すという目的で、芸術文化観光専門職大学のゼミ活動を通して学生によるポスター作成を試みている。図4にポスターの一例を示す。

兵庫県立但馬技術大学では、3Dデータの構築を行っている。図5⁽³⁾に出石初号機・出石二号機の3Dデータ復元像を示す。3Dデータ(eprtファイル)⁽³⁾はWEB公開されている。

兵庫県立工業技術センターでは、WEB公開された写真データから3Dデータ(stlファイル)⁽³⁾を構築・WEB公開すると同時に、樹脂プリンターを利用した樹脂レプリカ、砂型プリンターと鋳造法を利用した金属レプリカの作製を行っている⁽⁶⁾。図6⁽³⁾⁽⁶⁾に、WEBに掲載された写真データから構築した出石初号機の歯車部品の3Dデータ・3Dイメージと、3Dプリンターにより作製したレプリカを示す。3Dプリンターによるレプリカ作製(実物が手元になくても部品を造形できるデジタルツインの実現)は、①歯車の歯の形状が一つ一つ異なる手作業で作製された特徴の反映、②機構部検証においてレプリカを利用すれば駆動部の破損防止が可能、③電子顕微鏡などの破壊分析において実際にどのような破損もたらされるか実証できる、④アウトリーチ活動・教育においてデジタルだけではなくアナログ効果が利用できるなど数多い。兵庫県立工業技術センターの試みは、文化調査における3Dプリンターおよびその周辺技術の開発の先駆例と言える。

新産業創造研究機構(NIRO)では、機械・機構学の観点か

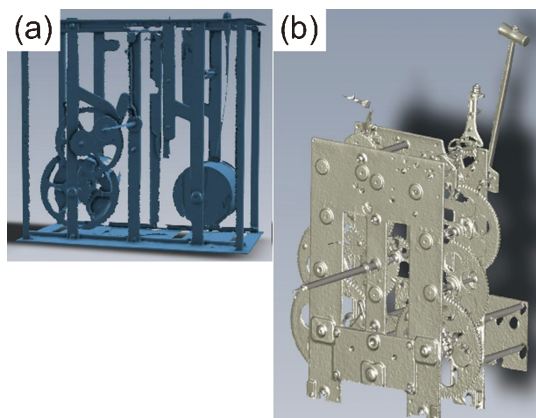


図5 但馬技術大学校で構築された3Dイメージ。(a) 初号機, (b) 二号機⁽³⁾。

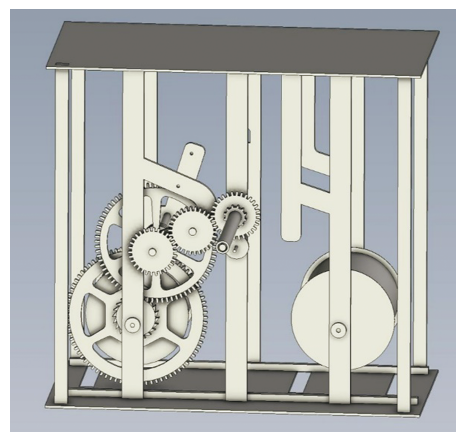


図7 新産業創造研究機構(NIRO)にて構築された出石初号機の3Dイメージ⁽³⁾⁽⁶⁾。

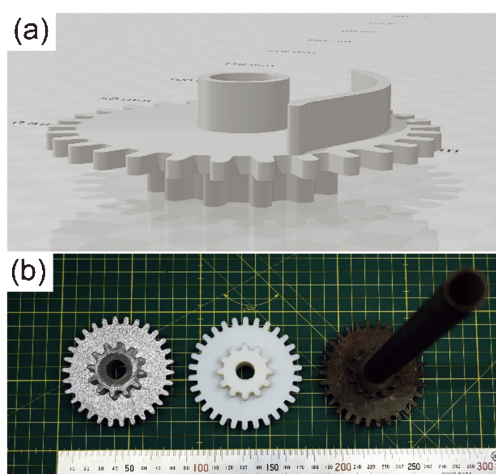


図6 兵庫県立工業技術センターにて機械部品の3Dイメージと3Dプリンターレプリカ。(a) 3Dイメージ, (b) 左は金属レプリカ, 中央は樹脂レプリカ, 右は本物⁽³⁾⁽⁶⁾。

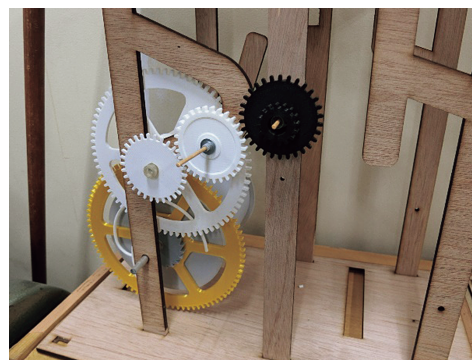


図8 神戸市立工業高等専門学校にて作製されている出石初号機復元モデル⁽⁴⁾。

ら初号機の検証を行っている。図7⁽³⁾に、時計の機構、歯車の機構学の観点から構築された3Dイメージ(stl, step, f3zファイル)⁽³⁾を示す。機構学の観点からみた出石初号機の特徴は下記にまとめられる：出石初号機の形は、フランスのモービエクロックのように、上下の板に支柱が立てられ、この支柱に歯車が配置されている単純なものである。上下の鉄板は、くさびで支柱に固定されている。上側の板に穴はほとんど開いていないことから、時を刻む機構は、天符式ではなく振り子式と考えられる。ガンギ車や雪輪などの時計機構の判別において重要な部品が欠損している。和時計における鐘打ち棒の駆動バネ(シュモクバネ)のような部品が残っている一方で、ランタンピニオンが利用されている点は一般的な和時計とは異なる。和時計は多くの歯車が鉄系金属材料で作製されていると考えられるが、出石初号機の歯車は磁石につかないことから、黄銅・青銅製の可能性が高い。歯車の形状は、インボリュート歯車ではない。

神戸市立工業高等専門学校では、新産業創造研究機構(NIRO)にて構築された3Dデータをもとにした3D復元模型の作製が行われている。復元模型は、専攻科の学生が中心



図9 2024年に明石立天文科学館で開催された特別展「ときあかせ！辰鼓楼・機械時計の謎」のポスター⁽⁷⁾。

兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクトでは、上述のように、兵庫県各地の様々な分野の専門家と市民が、クラウド・WEBを介してつながり、材料科学×人文科学×情報発信の融合による出石初号機の製造地解明を行っている。加えて、アウトリーチ活動の一環としての展示・講演だけではなく、大学・高専における授業や学生による研究活動、さらには兵庫県立明石高等学校・STEAM探究科の学生によるSTEAM教育の一環としての学びなど、市民参加型の調査が実施されていることも大きな特徴と言える。

(1) 出石初号機の製造地を同定する確定的な資料・写真・実験結果は得られていない。機械の構造や、金属部品の特徴などから、国内の技術者が、模倣により機械時計を作製した可能性が高いと考えられる。出石初号機は、物としての価値だけではなく、但馬地域・日本海側・我が国における東京・大阪以外の地方都市での「時の概念」の変革の象徴としての文化的価値は極めて高い。

- (1) 文化庁, 伝統的建造物群保存地区, 豊岡市石出(兵庫県)
https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/hozon-chiku/pdf/93738601_66.pdf(assessed, 2024.10.13).
- (2) 豊岡市, 豊岡偉人伝16
https://www.city.toyooka.lg.jp/_res/projects/default_project/_page/_001/002/597/26.pdf(assessed, 2024.10.13).
- (3) 兵庫出石・辰鼓楼機械時計科学調査プロジェクト
<https://shinkoro-pj.net/>(assessed, 2024.10.13).
- (4) Wikipedia, 辰鼓楼
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%BE%B0%E9%BC%93%E6%A5%BC>(assessed, 2024.10.14).
- (5) 内田麻理香, 原 壱: 科学技術社会論研究, **18**(2020), 208–220.
https://doi.org/10.24646/jnlsts.18.0_208
- (6) 永瀬丈嗣, 今木辰彦, 竹内 章, 柳谷彰彦, 山口 篤, 山崎 徹: 溶接学会誌, **93**(2024), 418–422, <https://doi.org/10.2207/jjws.93.418>.
- (7) 明石市立天文科学館, 特別展「ときあかせ! 辰鼓楼・機械時計の謎」
<https://www.am12.jp/topics/shinkoro/>(assessed, 2024.10.14).

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

2003年 大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了
主な略歴

2003年 大阪大学大学院工学研究科 助手

2008年 大阪大学超高压電子顕微鏡センター 助教

2010年 大阪大学超高压電子顕微鏡センター 講師

2014年 大阪大学超高压電子顕微鏡センター 准教授

2021年 4月- 現職

専門分野：電子顕微鏡学，材料科学

◎電子顕微鏡学(遠隔電子顕微鏡法，電子顕微鏡と放射光の複合観察法，電子照射法，その場観察法，超高压電子顕微鏡法)および材料科学(材料設計学，鑄造・凝固，教材開発)に関する教育・研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★