日本文化財科学会第 31 回大会

31st Annual Meeting of the Japan Society for Scientific Studies on Cultural Property

● 特別セッション ●『東アジアの水田稲作文化』

日時　2014 年 7 月 5 日(土)14:00 ～ 18:00　会場　奈良教育大学　講堂(パルテ)

● 講演およびディスカッション ●

「整条式水稲移植の始まりと発掘水田」
菅谷文則　(奈良県立橿原考古学研究所)

「御所市秋津遺跡・中西遺跡における弥生前期水田の調査」
本村充保　(奈良県立橿原考古学研究所)

「弥生時代前期水田の構造と湛水機能」
稲村達也　(京都大学)

「韓国における新石器時代～三国時代の畑・水田遺構研究の現状」
金炳燮　(慶南発展研究院歴史文化 center)

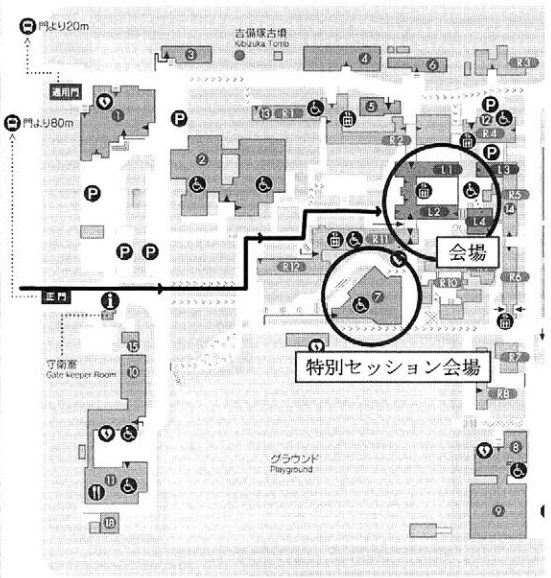
「中国浙江省初期稲作文化」
蒋楽平　(浙江省文物考古研究所)

「多角的生業戦略から稲作専業へ―中国浙江省の調査から―」
中村慎一　(金沢大学)

「中国大陸における農耕社会の成立」
小柳美樹　(金沢大学資源学研究センター)

●総　括●
田崎博之(愛媛大学)、宇田津徹朗(宮崎大学)、金原正明(奈良教育大学)

■会場案内図(奈良教育大学構内)



※ L1・L2・L4・7 が会場です。

■開催日程

7 月 4 日(金)
エクスカーション

7 月 5 日(土)

受付開始	8：30 ～
開会の挨拶	9：20 ～ 9：30
口頭発表	9：30 ～ 12：20
昼休憩	12：20 ～ 13：00
ポスター解説	13：00 ～ 14：00
機器展示・図書等頒布	10：00 ～ 15：00
特別セッション	14：00 ～ 18：00
懇親会	18：30 ～ 20：00

7 月 6 日(日)

受付開始	8：30 ～
口頭発表	9：00 ～ 11：30
総会	11：30 ～ 12：30
昼休憩	12：30 ～ 13：15
ポスター解説	13：15 ～ 14：15
機器展示・図書等頒布	9：00 ～ 15：00
口頭発表	14：15 ～ 16：09
閉会の挨拶	16：15 ～ 16：30

日本文化財科学会第31回大会・2014年度総会　プログラム

第一日目　受付（講義1号棟 エントランスホール）開始　8:30～
開会挨拶（C会場［講義４号棟　１階　大講義室］）　9:20～9:30
機器展示・書籍販売　10:00～15:00

口頭発表　第一日目　７月５日（土）　［口頭発表は1件18分(発表:15分、質疑：3分)］

A会場［講義1号棟 1階 101教室］ 9:30～12:20

分野	時間	頁数	題目（和文・英文）　発表者
材質・技法	9:30～9:48	A-01	蛍光X線分析による長福寺本堂内陣柱迦陵頻伽図彩色の材質調査 X-ray fluorescence analysis of the painting materials used in Kalavinka image on a pillar in Chofuku-ji Temple. ○青木智史　大山明彦　池田藍子　山田宏
	9:48～10:06	A-02	京都市廬山寺に伝わる降魔面の制作技法についての調査 Research on Making Technique for Traditional Festival Mask “Goma-men” ○下出祐太郎　近藤香菜　遠藤淳司　成田智恵子
	10:06～10:24	A-03	FTIRによる正倉院の絹の分析 Scientific Analysis of Silk Stored in the Shosoin Treasure House Repository by FTIR ○中村力也　成瀬正和
	10:24～10:42	A-04	三次元形状計測を用いた資料の管理について About management of the data using three-dimensional geometry measurement ○北井利幸　奥山誠義　柳田明進　今尾文昭　水野敏典　西藤清秀　菅谷文則
	休憩　10:42～10:50		
年代測定	10:50～11:08	A-05	鑑真が将来した四分律と，正倉院蔵聖語蔵経巻およびある四分律の古写経切との関係－年代測定・顕微鏡観察・書誌学的考察の結果から－ Relation between the Shibunritu sutras brought to Japan by Ganjin and the rolls of Shibunritsu sutras possessed by Shosoin and a certain fragment of ancient Shibunritu sutra: On the result of radiocarbon dating, microscope observation and bibliographical consideration ○小田寛貴　坂本昭二　安裕明
	11:08～11:26	A-06	住宅建築の^{11}C年代調査-石水院、古今伝授の間 ^{14}C dating of Sekisui-in and Kokindenju-no-ma teahouse ○中尾七重　坂本稔
	11:26～11:44	A-07	酸素同位体比を用いた愛知県稲沢市下津宿遺跡における大量の井戸枠檜材の年代決定 Oxygen isotopic dating for numerous hinoki cypress well frames from Oritsujuku remain in Inazawa, Aichi. ○中塚武　大石恭平　樋上昇
	11:44～12:02	A-08	遺跡発掘木材のC-14年代と年輪年代 Radiocarbon ages and dendrodates of buried woods excavated from archeological sites ○中村俊夫　木村勝彦　箱崎真隆
	12:02～12:20	A-09	土器残存有機物を用いた縄文時代晩期亀ヶ岡文化圏，内陸性杉沢遺跡の食性復元 Reconstruction of paleodiets in potteries using radiocarbon dating, stable isotope analysis and lipid analysis at Sugisawa site from Final Jomon Periods, Japan ○宮田佳樹　堀内晶子　上條信彦

B会場［講義1号棟 1階 102教室］ 9:30～12:20

分野	時間	頁数	題目（和文・英文）　発表者
古環境	9:30～9:48	B-01	堆積物の有機残存物と炭化物の基礎的研究 Fundamental studies of Carbonized plant remains and Organic remains contained in sediment ○金原正明　田崎博之　岡田憲一　柳原麻子　中村慎一　金原美奈子　金原裕美子　高田秀樹　西田巌
	9:48～10:06	B-02	中世大友府内町跡-大友宗麟の城下町-出土の動物遺存体の研究 The utilization of animal resouces recovered from the Medieval town of Otomo-Funai, Oita City ○松井章　丸山真史
	10:06～10:24	B-03	中世大友府内町跡（大友宗麟の城下町）出土の貝類 Shells recovered from the medieval town of Otomo-Funai ○池田研
	10:24～10:42	B-04	中世大友府内町跡-大友宗麟の城下町-出土動物遺存体の同位体化学分析 Stable isotope analysis of zooarchaeological remains from the medieval town of Otomo-Funai ○覚張隆史　米田穣
	10:42～11:00	B-05	動物考古学からみた中近世日本におけるニワトリの利用－中世大友府内町跡資料を中心に－ The domestic chicken exploitation in Medieval and Early Modern Japan, based on zooarchaeological analysis of chicken remains from the medieval town of Otomo-Funai ○江田真毅
	11:00～11:18	B-06	北海道伊達市カムイタプコプ下遺跡から復元されたアイヌ文化期の古環境II-調査速報- Paleoenvironment of Ainu Era II - Preliminary survey report at the Kamuitapukopushita site of Usu in Date City, Hokkaido-. ○添田雄二　菅野修広　青野友哉　永谷幸人　河畑敦史　伊達元成　三谷智広　中村賢太郎　松田寛介　上中央子　宮地鼓　渡邊剛　渋谷綾子
	休憩　11:18～11:26		

産地	11:26～11:44	B-07	XRF、ESR法による芝ヶ原古墳出土玉類の産地分析 The source identification of the jasper and jade beads found from Shibagahara tumulus by means of XRF and ESR ○藁科哲男　田村朋美　中村大介　小泉裕司
	11:44～12:02	B-08	平原遺跡出土鏡の製作地は九州か？ Were the Hirabaru mirrors manufactured in Kyushu? ○馬淵久夫
	12:02～12:20	B-09	石川県大川遺跡から出土した九谷古窯産磁器の生産地推定 Provenance study of porcelains produced in Kutani kiln excavated from Okawa site in Ishikawa prefecture 新免歳靖　伊東聡　藤田邦雄　○二宮修治

C会場［講義4号棟　1階　大講義室］　9:30～12:20

分野	時間	頁数	題目（和文・英文）　発表者
文化財科学一般	9:30～9:48	C-01	光音響赤外分光法(PA FT-IR)による文化財資料非破壊分析の基礎的研究 PA FT-IR　Photoacoustic Spectroscopy of Cultural Properties for Non-destructive Researches ○奥山誠義　佐藤昌憲
	9:48～10:06	C-02	和紙とヨーロッパとの出会い：東洋文庫所蔵イエズス会キリシタン版文書用紙の分析 Encounter of Japanese Paper with Europeans: Analysis of Paper of the Jesuit Christian Edition of the Collection of Toyo Bunko ○江南和幸　坂本昭二　岡田至弘　豊島正之　石塚晴通
	10:06～10:24	C-03	南鴻沼遺跡から出土した縄文時代の考古遺物の化学分析 Chemical analysis of archaeological relics of the Jomon period excavated from the ruins Minami-Konuma ○湯淺健太　本多貴之　宮腰哲雄　早坂仁敬　目黒まゆ美
	10:24～10:42	C-04	敦煌文書料紙と奈良平安時代の古文書料紙の比較分析 Paper Comparison between Dunhuang Manuscripts and Nara-Heian Period Manuscripts ○坂本昭二　Nathalie Monnet　岡田至弘
	10:42～11:00	C-05	化学組成によるサーサーン・ガラス容器の起源推定：可搬型蛍光X線分析装置による非破壊オンサイト研究 Provenance study of Sasanian glass vessels by chemical compositional analysis: nondestructive onsite investigation using portable X-ray fluorescence spectrometer ○阿部善也　四角隆二　中井泉
	休憩　11:00～11:08		
文化財科学一般	11:08～11:26	C-06	文化的景観の3次元写真測量による保護や保全に関する方法論 ―京都府大山崎町所在宝積寺の九重石塔の事例から― Methodology concerning protection and maintenance by three dimension photogrammetry of Cultural Landscape ○渡邊俊祐　津村宏臣　朽津信明
	11:26～11:44	C-07	藤ノ木古墳人骨ふたたび：南側被葬者は男性なり Hujinoki-Kofun Human Skeletal Remains Revisited: The Southern Burial Should Have Been of Male ○片山一道
	11:44～12:02	C-08	X線CTによる十五郎穴横穴墓群出土鉄製品の調査 Investigation of iron from Jugoroana rock-cut tombs by the X-ray Computed Tomography ○稲田健一　栗田昌幸　高木寛之　髙妻洋成
	12:02～12:20	C-09	砂岩材の特徴に基づくプレア・ヴィヘア遺跡の建造順序の推定 Construction sequence of the Preah Vihear monument in Cambodia deduced from the characteristics of its sandstones ○内田悦生　溝口明則　佐藤広野　下田一太　渡辺亮太

昼休憩　12:20～13:00

ポスター解説　13:00～14:00

特別セッション『 東アジアの水田稲作文化 』［ 講堂 ］　14:00～18:00　公開

懇親会　18:30～20:00

第二日目　受付（講義1号棟 エントランスホール）開始　8:30～

機器展示・書籍販売　9:00～15:00

口頭発表　第二日目　7月6日（日）　［口頭発表は1件18分(発表:15分、質疑：3分)］

A会場［講義1号棟 1階 101教室］ 9:00～11:30

分野	時間	頁数	題目（和文・英文）　発表者
材質・技法	9:00～9:18	A-10	武具の変遷と防御性の検証実験（2） History of ancient Japanese armor, and verification test of the defensive（2） ○塚本敏夫　小村眞理　初村武寛　田中由理
	9:18～9:36	A-11	甲冑絹、中尊寺絹、補修用絹のヘリウムイオン顕微鏡観察 Observation of Silk Materials Used in Armors, Chusonji Temple, and Restoration via Helium Ion Microscope ○中條利一郎
	9:36～9:54	A-12	有機赤色彩色材料としてのラックレジン：古代における臙脂赤の再考 Lac resin as an organic red colourant in Ancient and Medieval Asia ○谷口陽子　北川美穂　室伏麻衣　楊 傑　島津美子　佐藤一郎
	9:54～10:12	A-13	常陸の前期古墳出土のガラス小玉の化学的組成と製作技法 Chemical compositions and manufacturing techniques of the glass beads from the Hitachiregion tumuli (first half of the Kofun period) ○加藤千里　澤村大地　中井泉　滝沢誠　谷口陽子
	10:12～10:30	A-14	縄文・弥生時代遺跡出土編組製品素材の考古植物学的研究ータケ・ササ類の加工 Archaeobotanical study on basket materials of the Jomon to Yayoi periods—Processing of bamboo materials ○佐々木由香　小林和貴　鈴木三男　能城修一
			休憩　10:30～10:36
材質・技法	10:36～10:54	A-15	卸し鉄の炉内反応と浸炭・脱炭機構 The Presumed Reaction Mechanisms of Oroshi-gane, Manufacturing Process of the Material of Kawagane for Japanese Swords ○齋藤努　高塚秀治
	10:54～11:12	A-16	縄文土器の紐積み痕の復元：三内丸山遺跡の大型破片の分析 Reconstructing coiling methods of Jomon pottery: Based on large fragments from the San-nai Maruyama site. ○小林正史　鐘ヶ江賢二
	11:12～11:30	A-17	長崎奉行所跡出土のガラス製品の自然科学的研究 Scientific research of glass products excavated from the Nagasaki magistrate's office site ○新免歳靖　豊田亜貴子　川口洋平　三宮修治

B会場［講義1号棟 1階 102教室］ 9:00～11:30

分野	時間	頁数	題目（和文・英文）　発表者
保存科学	9:00～9:18	B-10	出土木製遺物の屋外水中保管環境における溶存酸素の分布と挙動 Distribution and behavior of dissolved oxygen in the storage for waterlogged wooden objects ○松田和貴　脇谷草一郎　高妻洋成
	9:18～9:36	B-11	振動解析による石造遺跡の予防診断法の開発 II －凍結融解による破壊分析－ Development of technical measures for the preventive diagnosis of stone-built heritage site -A destructive analysis by the freezing and thawing test- ○跡見洋祐　松井敏也　川村洋平
	9:36～9:54	B-12	トレハロースを使用した真空凍結乾燥法による出土木材の保存処理研究 Study on conservation of Waterlogged wood using freeze-drying method with trehalose ○中村晋也　関晃史
	9:54～10:12	B-13	海洋環境における鉄製遺物の腐食過程の研究 -国史跡鷹島神崎遺跡における埋蔵環境の季節変動と堆積物の状態 Corrosion of iron artifacts in marine environment -Characteristics of seasonal change in buried environment and sediments condition at Takashima-Kozaki Archeological site ○柳田明進　池田榮史　脇谷草一郎　高妻洋成
			休憩　10:12～10:18
保存科学	10:18～10:36	B-14	日岡古墳の保存施設内における温熱環境の調査 Investigation of thermal environment inside the shelter for Hinooka tumulus ○犬塚将英　森井順之　石井茉依　吉田東明
	10:36～10:54	B-15	東日本大震災による弘道館石碑の被災原因調査と修復 Study of the damage of Kodokan Stone Monument due to the Great East Japan Earthquake and its Restoration ○石崎武志　内田和伸　海老沢孝雄
	10:54～11:12	B-16	仙台市富沢遺跡保存館における遺跡保存の取り組み The case study of The Sendai City Tomizawa Site Museum about the conservation of sites. ○佐藤祐輔　奥西将之
	11:12～11:30	B-17	アヤ・イリニ聖堂内部の保存環境に関する調査 Environmental condition in Hagia Eirene, Istanbul, Turkey ○佐々木淑美　吉田直人　小椋大輔　安福勝　永谷悦子　石崎武志

C会場［講義4号棟 1階 大講義室］ 9:00～11:30

分野	時間	頁数	題目（和文・英文） 発表者
産地	9:00～9:18	C-10	藤原宮・京跡出土瓦の胎土分析 Clay analysis of roof tiles excavated from the Fujiwara Palace site ○降幡順子 森先一貴 清野孝之
	9:18～9:36	C-11	硫黄・水銀・鉛同位体分析法を組み合わせた遺跡朱の産地推定法 Identification of original source of vermilion collected from burial mound using three methods for sulfur, mercury, and lead isotopes ○南武志 河野摩耶 高橋和也 武内章記 徳田誠志 東影悠 奥山誠義 寺沢薫 今津節生
	9:36～9:54	C-12	蛍光X線分析によるサヌカイトの原産地推定に前処理は必要か？ Does X-ray Analysis for Sourcing Sanukite Artifacts Required as Pretreatment Removing of their Surfaces? ○上峯篤史 髙木康裕 竹原弘展 朝井琢也
	9:54～10:12	C-13	北海道における黒曜石原産地の地質学的及び岩石学的データの集約 Compilation of geological and petrological data of obsidian sources in Hokkaido, Japan ○和田恵治 向井正幸 佐野恭平 出穂雅実 佐藤宏之
	休憩 10:12～10:18		
文化財科学一般	10:18～10:36	C-14	琉球王国における四殿内所蔵丸櫃の科学分析 Scientific Analysis of the Yutounchi collection round chests in the Ryukyu Kingdom ○伊郷宗一郎 本多貴之 宮里正子 岡本亜紀 又吉紅子
	10:36～10:54	C-15	黄檗で染色された文化財染織品に含まれるプロトベルベリン誘導体の定量分析を用いた劣化評価についての一考察 Evaluation of the degradation over storage environment and aging by the quantitative analysis of the protoberberine derivatives used in the cultural textiles dyed in Amur Cork Tree kinds (Phellodendron species) ○佐々木良子 藤井健三 佐々木健
	10:54～11:12	C-16	無形文化財（方言）分布からみた文化景観とその保存 - 沖縄・ヤンバル方言を対象にして - The cultural landscape conservation of Yan-baru area based on dialects distribution ○湯佐安紀子 津村宏臣 狩俣繁久 大西正幸
	11:12～11:30	C-17	飾古墳修復材料の研究Ⅱ-「がんぜき」を用いた試み ～上天草市大戸鼻南古墳での実践～ Research on the restoration materials for decorated tumulus Ⅱ-「The trial of GANZEKI」 ～ Practice at the Ootohana tnmulusin Kami Amakusa City ～ ○坂口圭太郎 池田朋生 徳弘恵吾 高野信子 朽津信明

総会C会場［講義4号棟 1階 大講義室］ 11:30～12:30

昼休憩 12:30～13:15

ポスター解説 13:15～14:15

A会場［講義1号棟 1階 101教室］ 14:15～16:09

分野	時間	頁数	題目（和文・英文） 発表者
材質・技法	14:15～14:33	A-18	高松塚古墳壁画の材料調査 -西壁女子群像の赤衣像青色裳に使用された色料について- Material survey of The Painted Murals of Takamatsuzuka Tomb -Investigation of painting material which was used for the pattern as an ancient Dark Bluish "Mo 裳"- ○赤田昌倫 吉田直人 辻本与志一 降幡順子 高妻洋成 朽津信明 早川典子 早川泰弘 岡田健 脇谷草一郎 田村朋美 建石徹 宇田川滋正
	14:33～14:51	A-19	福泉洞古墳出土馬甲付着有機質研究 A Study on the Organic Remains Attached to Horse Armor from the Bokcheon-dong tombs ○林志暎
	14:51～15:09	A-20	エジプト・カラニス遺跡出土ガラスの考古科学的研究 An archaeological and scientific study of glass from Karanis, Egypt ○田村朋美 大賀克彦 赤田昌倫 北條芳隆
	休憩 15:09-15:15		
材質・技法	15:15～15:33	A-21	放射光X線による徳川ミュージアム所蔵 野田清尭製火縄銃の調査報告－用いられている材料と製造方法について－ Scientific research on Japanese matchlock guns fabricated by Noda Kiyotaka in the Edo period owned by the Tokugawa Museum by synchrotron X-ray ○田中眞奈子 徳川真木 永田和宏 伊東真義
	15:33～15:51	A-22	黒塚古墳出土三角縁神獣鏡の非破壊定量分析 Non- destructive quantification analysis of triangular rimmed deity and beast mirrors excavated at Kurozuka tomb ○長柄毅一 栗田佳之以 菅谷文則 奥山誠義 宮原晋一 三船温尚
防災 文化財	15:51～16:09	A-23	2011年における陸前高田市立博物館被災剥製類修復の取り組み Approach to Repairing Damaged Taxidermy in the Rikuzentakata City Museum, 2011. ○富岡直人 熊谷賢 岩見恭子 絹田有梨

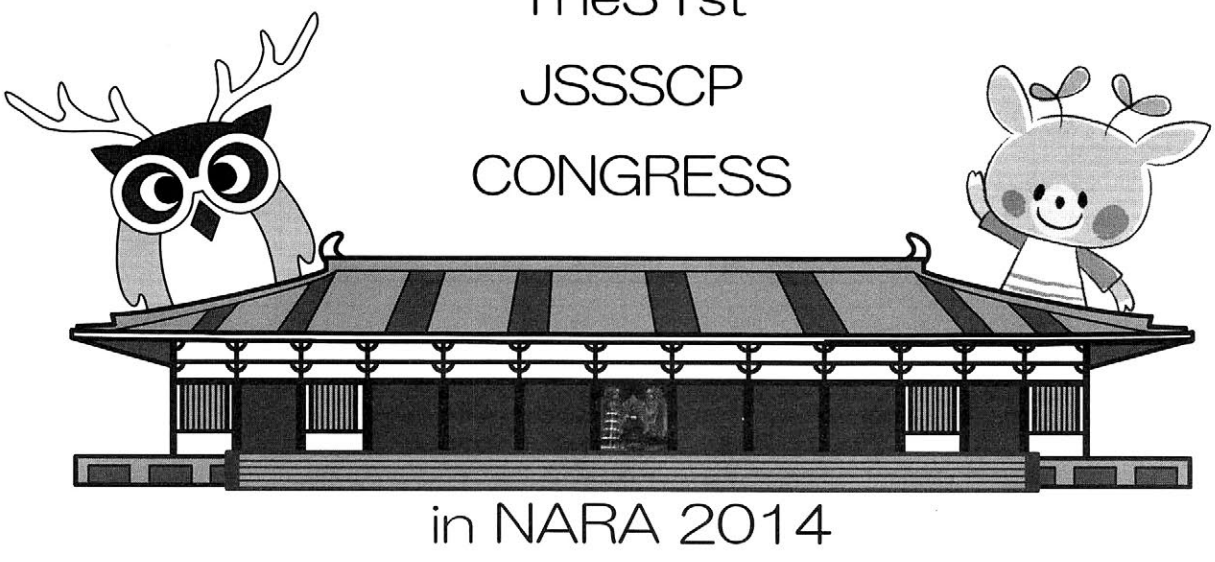
B会場［講義1号棟 1階 102教室］ 14:15～15:36

分野	時間	頁数	題目（和文・英文） 発表者
探査	14:15～14:33	B-18	宇宙線ミューオンによる古墳埋葬施設の解析 An analysis of burial facilities of Kofun mounded tombs by cosmic rays:μ(muon) ○石黒勝己 西藤清秀 松田渡
探査	14:33～14:51	B-19	一貴山銚子塚古墳の地中レーダ探査 Ground Penetrating Radar Survey at Ikisan-Choshizuka Tomb ○水永秀樹 田中俊昭
			休憩 14:51～15:00
探査	15:00～15:18	B-20	重要文化財「旧米沢高等工業学校本館」の中央屋根部屋の柱の超音波探査 Ultrasonic Inspection of Pillars of the Center House Attic of the Important Cultural Property "Main Building of the Former Yonezawa Techincal College" ○足立和成 藤井尋也 西脇智哉 柳田裕隆 星野智紀 西脇智哉 渡辺裕二
探査	15:18～15:36	B-21	茨城県石岡市舟塚山古墳の物理探査 —前方部墳頂— Geophysical Prospection of Funatsukayama Mounded Tomb, Ishioka City, Ibaraki Prefecture, Japan - on the front square part of the keyhole tomb- ○千島史彦 亀井宏行 藍野健大 山本達也 木村真大 田中裕 佐々木憲一

C会場［講義4号棟 1階 大講義室］ 14:15～16:09

分野	時間	頁数	題目（和文・英文） 発表者
文化財科学一般	14:15～14:33	C-18	３Ｄプリンターの文化財研究への応用と課題 …静岡県原分古墳出土の鉄製円筒柄頭の銀象嵌復原を中心に… Application and issue to the cultural properties study of the 3D printer ○村上隆
文化財科学一般	14:33～14:51	C-19	大坂城石垣用石材の搬出工程モデルの検討 - 小豆島天狗岩丁場・天狗岩磯丁場を対象とした全地形測量調査とその評価 - Examination into Model of Carrying Out Process to Osaka Castle wall stone in Tenguiwa・Tenguiwaiso Job site, Shodo Island ○茂木孝太郎 湯佐安紀子 津村宏臣 川宿田好見
文化財科学一般	14:51～15:09	C-20	マスタバ・イドゥートの壁画中に存在する経年劣化した動物膠の分析 Characterization of degradate animal glue in the wall paintings of the Idout Tomb ○深草俊輔 河原一樹 Ahmed Sayed Shoeib Adel Akarish 吹田浩 荒川隆一 中澤隆
			休憩 15:09～15:15
保存科学	15:15～15:33	C-21	文化財修復に用いられた合成樹脂の劣化に関する研究 Study on the degradation of synthetic resin that was used to repair cultural assets ○森祐樹 本多貴之 早川典子
保存科学	15:33～15:51	C-22	X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の取り上げ・構造解析から公開活用に向けて- Research to obtain a wealth of information artifacts that discovered from the sites using X-ray CT scanner ○加藤和歳 小林啓 山崎悠郁子 今津節生 輪田慧 森下靖士 甲斐孝司 横田義章
保存科学	15:51～16:09	C-23	史跡ガランドヤ古墳の保存に関する研究 -結露の抑制方法に関する検討- Control methods of condensation occurred in the stone chamber to restrain the deterioration of decorated stone of Garandoya tumulus ○脇谷草一郎 小椋大輔 高妻洋成

閉会挨拶 C会場［講義４号棟 １階 大講義室］ 16:15～16:30



ポスター発表

解説時間　第一日目　7月5日（土）　13:00～14:00
第二日目　7月6日（日）　13:15～14:15

分野	頁数	題目（和文・英文）　発表者
年代測定	P-001	炭素14年代測定による先史古代竪穴住居の構築状況の研究 Study on Residential Construction from Dating of Pit Houses ○小林謙一
	P-002	古代クメール都市サンボー・プレイ・クック遺跡群の都城築造年代 Construction date of the Ancient Khmer City Sambor Prei Kuk ○下田一太　チュン・メンホン　米延仁志　原口強
	P-003	岡山地域4古窯の考古地磁気方位測定と年代推定 Archeomagnetic measurements and chronology on four old kilns in Okayama region ○畠山唯達　北原優　玉井俊　鳥居雅之
	P-004	日本産ツガ属の年輪年代測定（その７）－四国地方の文化財建造物における調査－ Dendrochronology of Japanese Hemlocks 7; Research on wooden historical buildings in Shikoku District ○藤井裕之
	P-005	京都大学総合博物館所蔵のコプト織物の調査（３）放射性炭素年代 Research on Coptic Textiles in the Kyoto University (3) Radiocarbon dating ○横山操　坂本稔　村上由美子　東村純子　泉拓良
	P-006	含浸処理された糖を除いた木材の炭素14年代測定 Radiocarbon dating of preserved wood samples after the removal of impregnated sugar. ○坂本稔　伊藤幸司　今津節生
	P-007	山形県白鷹町相応院蔵・笈の年輪年代測定 Dendrochronological dating of an oi (traveling monk's back-carrying tool) from Sououin, Yamagata Prefecture ○大山幹成　岡田靖　宮本晶朗
	P-008	琵琶湖水の^{11}C濃度変動へのDead Carbon Sourceの寄与と炭素年代測定への影響 Contribution of dead carbon source to fluctuate DI^{14}C at Lake Biwa and its effect of radiocarbon dating ○宮田佳樹　荒巻能史　南雅代　太田友子　遠部慎　坂本稔　今村峯雄　中村俊夫
古環境	P-009	窒素・炭素安定同位体比から考える韓国出土炭化穀物の栽培環境 Nitorogen and Carbon Isotope Analysis of Charred Grains for Reconstruction of Cultivation Environment ○庄田慎矢　米田穣　那須浩郎　羅建柱　安承模
	P-010	千葉県内の遺跡から産出した環境指標としての鳥類化石群 Bird fossil assemblage as environmental indicator found from remains in Chiba prefecture ○平塚直史　江口誠一　桑原和之　箕輪義隆
	P-011	平安時代前期前半の古植生・植物利用：大阪府禁野本町遺跡の事例 Paleobotany and Archaeobotany in the early Heian Period ：a case study from the Kinya Honmachi site , Osaka prefecture ○松元美由紀　辻康男　田中義文　斉藤崇人　辻本裕也　西田敏秀　井戸竜太
	P-012	奈良県橿原市一町西遺跡での古代～中世の河川堆積作用と土地利用の変遷に関する土壌微細形態学的検討 Soil micromorphological examinatoin on the ancient to medieval changes of fluvial deposition and the land uses in Kazucho-nishi Site, Kashihara City, Nara prefecture. ○辻康男　光石鳴巳　菊井佳弥
	P-013	モンゴル国草原都市遺跡の古環境調査 Paleoenvironment investigation into remains of city in the Mongolian grassy plain ○豊島佳澄
	P-014	イネプラント・オパール中に内在する遺伝情報抽出手法構築に向けた基礎的研究（第１報） Fundamental study for the technique of salvaging the genetic information existing in the rice plant opal (Ⅰ) ○宇田津徹朗　田中克典
	P-015	東アジアにおける基盤整備型水田の成立期に関する実証的研究（第１報） Study for the establishment period of the paddy field development technology with land leveling in East Asia (Ⅰ) ○宇田津徹朗　田崎博之　中村慎一　金原正明　小柳美樹　藤原宏志　浦谷綾香　李小寧　劉斌　王寧遠　鄭雲飛
	P-016	鬼界アカホヤ噴火が南九州の植生および人類に与えた影響－植物珪酸体分析による検討－ The impact of the Kikai-Akahoya explosive eruption on vegetation and human societies in Southern Kyushu, Japan, clarified by Phytolith studies. ○杉山真二
	P-017	炭化残存物の基礎的研究 Fundamental studies of Carbonized plant remains contained in sediment 金原正明　○金原美奈子　中村慎一　柳原麻子　高田秀樹　西田巌
	P-018	松山市文京遺跡で検出された縄文時代後・晩期の推定畑地土壌のメソ・マイクロ堆積相 Meso- and microfacies of possibly cultivated field soil in the Late to Final Jomon periods in Bunkyo site, Matsuyama, Ehime prefecture. ○松田順一郎　田崎博之
	P-019	考古遺跡における景観復元の課題－複雑な地表システムの解析－ Problems in the past landscape reconstruction for archeological sites ; on the Analysis of　Earth surface systems ;. ○辻本裕也　松田順一郎

古環境	P-020	堆積物の有機残存物の基礎的研究 Fundamental studies of Organic remains contained in sediment 金原正明　○金原裕美子　田崎博之　岡田憲一　西田巖
	P-021	糞石の基礎的研究 Fundamental studies of Coprolite ○金原正子　金原正明　中村慎一　鄭雲飛　孫国平　西田巖
材質・技法	P-022	繊維遺物鑑別のための基礎研究―人工的に炭化させた国内各産地の大麻繊維の比較― Microscopic Study for Identification of Excavated Fibers－Comparison between Artificially Carbonized Hemp fibers from Different Districts in Japan－ ○伊藤美香　小原奈津子
	P-023	宇都宮旧新石町の山車・火焔太鼓の菊飾りに用いられた彩色材料分析報告 Scientific research on the painting materials used in a parade float decorated with chrysanthemum ornaments in Utsunomiya ○田中眞奈子　荒井経　谷中美佳子　井上真沙美　宮北千織
	P-024	平等院の国宝鳳凰・梵鐘・装飾金物の材料調査 Material Analysis of the Phoenix, the Temple Bell and the Ornamental Metals, National Treasures, in Byodoin Temple ○早川泰弘　城野誠治　神居文彰
	P-025	和歌山市園部円山古墳出土遺物についての再検討 Intragasstric administration of some burial goods recovered from Sonobe Maruyama Kohun ○清水梨代
	P-026	山陰西部（出雲・石見）地域の錫製環状製品について The report of ringed products made by tin in the San-in western part(Izumo,Iwami) ○上山晶子
	P-027	沖縄県立博物館・美術館所蔵　梵鐘の科学的調査 Scientific investigation of the temple bells in the collection of the Okinawa Prefectural Museum and Art Museum. ○鳥越俊行　崎原恭子　松井和幸　新郷英弘　八木孝弘
	P-028	出光美術館所蔵イスラーム陶器片の生産と技法に関する自然科学的研究 A Scientific Study on the sherds of Islamic pottery collected by the Idemitsu Museum of Arts ○村上夏希　二宮修治　新免歳靖　岡野智彦　金沢陽
	P-029	モンゴル国の突厥時代墳墓から出土した絹織物類の調査 Textiles from the tombs of the Turkic Khaganate in Mongolia ○村上智見　A．オチル　B．ウルタナサン　D．ウランチメグ　L．エルデネボルト　T．バットボルト
	P-030	ＮＩＲを用いた歴史的古材由来ニヨウマツ類の識別 Application of NIR spectroscopy to identify diploxylons used for historical buildings ○田鶴(水野)寿弥子　堀川祥生　杉山淳司
	P-031	日光東照宮唐門および透塀における旧塗装彩色材料に関する調査 Study on Historic Coating and Coloring Materials Used on Karamon Gate and Sukibei fence of Nikko Toshogu Shrine ○北野信彦　本多貴之　佐藤則武　浅尾和年
	P-032	大分県宇佐神宮が所蔵する能面の彩色材料について Pigment Used for Noh Masks in the Possession of Usa Shrine in Oita Prefecture ○石川優生　平尾良光　元永裕喜
	P-033	秋田県南秋田郡五城目町中山遺跡出土漆器類の材質・技法研究 Elucidation of the Technology and Materials used in Lacquerware Excavated from the Ruins of NAKAYAMA in AKITA Prefecture ○片岡太郎　上條信彦
	P-034	高松塚古墳壁画の赤色・黄色色料に関する調査 Investigation for the red and yellow color materials used in mural paintings of the Takamatsuzuka tumulus ○降幡順子　早川泰弘　赤田昌倫　吉田直人　辻本与志一　朽津信明　早川典子　脇谷草一郎　田村朋美　高妻洋成　岡田健　宇田川滋正　建石徹
	P-035	富山県小竹貝塚から出土した「鯛の歯を象嵌した漆製品片」 A piece of lacquered object inlaied with sea bream's tooth excavated from Odake Shellmound, Toyama Prefecture ○山崎健　丸山真史　菊地大樹　田村朋美　赤田昌倫　星野安治　大河内隆之　鈴木三男　小林和貴
	P-036	宮城県追戸横穴墓出土の斑点紋トンボ玉の自然科学的研究 Scientific investigation of a mosaic glass bead from Oido Yokoana Tomb in Miyagi ○田村朋美　星野安治
	P-037	南漢山城女墻の塼の水吸収特性研究 Study on water absorption properties of bricks used in Namhansansung ○鄭光龍　趙炳英　李王基　金範俊　朴敏銖　李相沃
	P-038	青陽長谷寺の金銅薬師如來坐像の改金層分析 Analysis on Coated-Gold Layers of Gilt Bronze Seated Bhaisajya-guru from Cheongyang Janggoksa Temple ○鄭光龍　金奎彬　李知遠　鄭世林
	P-039	鹿児島県喜界町川寺遺跡出土琥珀の材質分析 Analysis of Excavated Amber from Kawadera Site in Kikai Town, Kagoshima Prefecture ○植田直見　渡邊緩子　澄田直敏
	P-040	円覚寺跡（沖縄県那覇市）から出土した漆塗り遺物の分析 An analysis of the lacquer ware excavated from the remains of Engaku-ji temple. 湯淺健太　○本多貴之　宮里正子　宮腰哲雄

材質・技法

P-041	トルコ共和国サラット・ジャーミー・ヤヌ遺跡出土土器新石器時代土器の化学的および記載岩石学的分析 Study of the Chemical and Petrographic Analysis of Pottery from Salat Camii Yani, a Pottery Neolithic site in Turky ○松本建速　市川慎太郎　中村利廣　三宅裕
P-042	中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究（２） An experimental archaeological studay for reconstruction of manufacturing technology of Chinese bronze vessels (2) ○丹羽崇史　新郷英弘　樋口陽介　八木孝弘
P-043	東大寺二月堂飯器の塗膜分析 Lacquer layer analysis of the cooked rice container from Todaiji Nigatsu-do ○岡田文男　浦蓉子
P-044	中世の金生産に関する自然科学的研究　−金貨の表面処理について− A Study of gold producing technology in Medieval Japan -Analysis of surface treatment of gold coins- ○沓名貴彦　嶋村英之　小島浩之
P-045	中世の金生産に関する自然科学的研究　−金貨の表面に存在する不純物の分析− A Study of gold producing technology in Medieval Japan - Analysis of impurities existing on gold coin's surface - ○沓名貴彦　嶋村英之
P-046	携帯型蛍光Ｘ線分析装置による徳川ミュージアム所蔵　野田清堯製火縄銃の調査報告－用いられている装飾金属について－ Scientific research of ornamental metals of Japanese matchlock guns fabricated by Noda Kiyotaka owned by the Tokugawa Museum by portable XRF ○田中眞奈子　徳川真木　村上夏希　佐藤香子　瀬田愛子　二宮修治
P-047	薬師寺東塔に使用された塗装材料の分析 Analysis of the painting materials used in east pagoda of yakushi-ji temple ○金旻貞　赤田昌倫　高妻洋成　鈴木智大　馬場宏道
P-048	縄文時代の漆塗腕輪に関する基礎的研究（２） The studies on lacquered bracelets of the Jomon period（２） ○田口尚　菅原いよ　長町章弘　鈴木将太
P-049	中岳山麓窯跡産須恵器の生産過程と産地同定に関する鉱物学的分析 Mineralogical analyses on production process and provenance study of Sue-ware from the Nakadake-sanroku kilns site ○中村直子　Radegund HOFFBAUER　Johannes STERBA　Michael RAITH　篠藤マリア　鐘ヶ江賢二　大西智和
P-050	遼代墳墓から出土した可能性があるウランを含むガラス小玉 The glass bead,including uranium excavated from a tomb of Liao-period. ○魚島純一
P-051	人形からくりにおける鯨ばね利用文化の保存 Preservation of cultural use of baleen as plate springs in karakuri dolls ○白石愛
P-052	出土樹皮紐の材質同定に関する基礎研究　―現生サクラ属、カバノキ属樹皮組織の比較― A fundamental study on identification of archaeological bark string remains　—Anatomical comparison of *Cerasus* and *Betula*— ○浦蓉子
P-053	ホアジェム遺跡出土土器の胎土分析―ベトナム中部甕棺墓の土器製作技術と交流― Scientific analysis of pottery from Hoa Diem: Investigation for the technology of pottery production and interaction among another area in the Iron age Viet Nam. ○鐘ヶ江賢二　棟上俊二　山形眞理子　ブイ チー ホアン
P-054	敦煌莫高窟第285窟に描かれたパルメット文様の彩色材料および技法 Colouring Materials and Technique of Palmetto motifs on the Wall Paintings in Mogao Cave 285 中田愛乃　○高林弘実　崔 強　岡田健
P-055	敦煌莫高窟第285窟西壁の供養菩薩群の制作工程 Painting process of the Bodhisattvas Drawn on the West Wall of Mogao Cave 285 福島千晴　○高林弘実　岡田健　蘇伯民
P-056	出土ベンガラ中に含まれているパイプ状ベンガラ粒子の認定方法について How to decide pipe-like particles in Bengala Excavated from Archaeological Site. ○志賀智史
P-057	民族資料の3次元計測と土器制作の個の系統評価手法の開拓 Development of the assessment method of the genealogical series of pottery production based on the ethnological material 3D data ○津村宏臣　中園聡
P-058	生駒山西麓遺跡群出土軟質土器の材質 Material Clay of pottery produced in the site cluster of the Ikomayama west foot ○三辻利一　福永信雄
P-059	３Dデジタルレプリカを用いた武器形青銅器のライフサイクルの復元実験 Restoration experiment of the life cycle of weapon-shaped bronze using 3D digital replica ○塚本敏夫　吉田広　宮井善郎　田尻義了　宮里修　柳田康雄
P-060	顕微鏡写真解析および分光画像解析による弘化谷古墳の彩色調査 Investigation on the Colors of Kokadani Tomb Using Micrograph and Multispectral Imaging ○森本哲郎　猪瀬健二　影澤政隆　朽津信明　池内克史

産地	P-061	陶磁器の上絵層における有機物分析の試み－焼成後における有機物材料残存の可能性について－ Attempt to analyze organic matters in overglaze color layers of pottery and porcelain -Possibility of the organic matters remains in after firing- ○樋口智寛　二宮修治
	P-062	仙台東照宮と大崎八幡宮の石鳥居の石材について Stone types of the gateways to Sendai Toshogu Shrine and Osakihachimangu Shrine ○朽津信明
	P-063	阿玉台式土器胎土の地域性と混和に関する研究（2）―陸平貝塚の事例から― A study on locality and mixing of Atamadai type Jomon pottery material (2) – Case of Okadaira Shell Mound – ○河西学　松本建速　中村利廣　市川慎太郎　小林謙一　塚本師也　神山崇
	P-064	笛吹市前付遺跡出土の貯蔵された砂の産地―土器原料の産地推定における意義― Provenance study of the stored sand excavated from Maetsuki site in Fuefuki city - Significance in the locality estimation of pottery raw materials - ○河西学　宮澤公雄　櫛原功一　望月秀和
	P-065	九州北部地方における朱の流入と画期 Transition of original sources of vermilion used in the burial mounds in Northern Kyushu ○河野摩耶　南武志　今津節生
	P-066	都市江戸の武家屋敷から発掘された三楽園焼とその類似品の産地同定に関する産地同定研究 Provenance study of “SANRAKUEN YAKI” and the similar porcelains excavated from samurai residences in the city of Edo ○新免歳靖　水本和美　粕谷崇　二宮修治
	P-067	トルコ共和国、ビュクリュカレ遺跡から出土土器の重鉱物組成分析による産地推定 Provenance of pottery from Büklükale, Turkey by heavy mineral analysis using SEM-EDS ○関本敦久　橋本一茉　中井泉
	P-068	低視覚属性の検討と蛍光X線分析による弥生土器製作の解釈 Interpretation of Yayoi pottery making by investigation of low-visibility attributes and X-ray fluorescence analysis ○黒木梨絵　新屋敷久美子　中園聡　平川ひろみ
	P-069	縄文時代チャート製石器の産地推定―京都市高野川のチャート礫の調査― Sourcing chert artifacts of Jomon period: Survey of chert gravels in the Takano River in Kyoto ○高木康裕
	P-070	胎土に高師小僧を含む土器の原料粘土産地についての研究　－宮崎平野部の事例を中心に－ Provenance study of clay used for the earthware including loess dolls ‘Takashi Kozou’ ○竹井眞知子
	P-071	北タイの土器製作村における製作者の個人内変異と個人間変異―土器の形態と胎土―（第4報） Potters’ intraindividual and interindividual variation in a pottery village, Northern Thailand: pottery shapes and chemical characteristics — IV— ○中園聡　平川ひろみ　太郎良真妃　川宿田好見　白井菜実
	P-072	鹿児島県大崎町麦田下遺跡の弥生時代後期初頭土器群の蛍光X線分析―西南四国系土器の製作者に迫る― X-ray fluorescence analysis of Yayoi pottery from Mugitashita site, Osaki-cho, Kagoshima, Japan: pottery maker(s) of southwest Shikoku-style pottery ○中園聡　内村憲和　平川ひろみ　太郎良真妃
	P-073	東・西五十子古墳群出土埴輪の産地問題 Provenance problem of haniwa-pottery from the Isogo Tomb-sites cluster ○三辻利一　太田博之
	P-074	長崎県における黒曜石の産地推定 Sources identification of obsidian in Nagasaki ○片多雅樹　今西亮太
保存科学	P-075	石材強化保存材料としてのナノライムの物性評価（Ⅱ）-試験片による実験的研究(2)- Evaluation of Nano-Lime as the Consolidant of Stone (II) Experimental Study Using Artificial Test Pieces (2) ○西浦忠輝　宋苑瑞　齋藤俊介　アンドラス・モルゴス
	P-076	観察手法によるキトラ古墳壁画表面の調査結果報告 Investigation on the surface condition of mural paintings of the Kitora tumulus by macro photography ○吉田直人　赤田昌倫　辻本与志一　降幡順子　早川泰弘　早川典子　脇谷草一郎　田村朋美　朽津信明　岡田健　高妻洋成　宇田川滋正　建石徹
	P-077	油彩画「聖ヒエロニムス像」に関する基礎調査（Ⅱ）-カビ被害の状況とドライクリーニングによるカビ除去の効果- Fundamental Research on an Oil Painting: “Portrait of St Hieronymus”- 2 - Damaged Condition by Fungi and Effectiveness on Removing with Dry Cleaning - ○松田泰典　小野慎之介　高島浩介
	P-078	安藤緑山の牙彫技術に関する一考察－蛍光X線分析の結果から A Study of ivory carving techniques of Ando Rokuzan －Approach from the X-ray fluorescence analysis ○日高真吾　園田直子　和高智美　河村友佳子　橋本沙知　小林祐子
	P-079	MRIを用いた水浸出土木材の内部性状の可視化　―磁化移動効果を用いたポリエチレングリコールの浸透性測定― Visualization for internal property of waterlogged wood using MRI ; Measurement of polyethylene glycol permeability with magnetic transfer effect 金澤裕樹　○山田哲也　木戸晶　藤本晃司　小澤聡　小泉幸司　大國万希子　植田直見　富樫かおり
	P-080	鳥取県良田中道遺跡土壌から培養した鉄還元細菌によるベンガラの還元 Reduction of red iron oxide by iron reducing bacteria cultured from Yoshida Nakamichi site in Tottori City, Tottori Prefecture ○李素妍　谷口智子　吉川英樹

保存科学

P-081 冬場の臼杵石仏における覆屋の有効性評価のためのリアルタイム環境観測システム
A Real-time environment monitoring system for an effectiveness evaluation of protective shelters in the Usuki Stone Buddhas during a winter season
○小泉圭吾　森井順之　神田高士　伊藤広宣

P-082 田熊石畑遺跡における青銅器埋蔵環境に関する実測調査
Field survey on the preservative environments of unexcavated bronze objects at Tagumaishihatake site
○脇谷草一郎　柳田明進　高妻洋成

P-083 墳丘の被覆条件が石室内の温熱環境に与える影響に関する検討
Effect of the surface state and water content of burial mound soil on the thermal environment inside the stone chamber
○脇谷草一郎　小椋大輔　高妻洋成

P-084 ハギア・ソフィア大聖堂における内壁劣化の分布と南ティンパヌム壁画材料に関する調査
Investigation of inner wall deterioration and Analysis of painting material of South tympanum in Hagia Sophia, Istanbul, Turkey
○佐々木淑美　小椋大輔　水谷悦　吉田直人　安福勝　石崎武志

P-085 模擬古墳から検討した埋蔵環境下における遺物保存に関する研究
（その１）模擬古墳を用いた土中空間の環境計測とその性状の把握
Experimental research on preservation of buried cultural properties in the stone chamber by means of the simulated tumulus
Part 1: Environmental measurements of the chamber under the ground and understanding its property by means of the simulated tumulus
安井洋之　○小椋大輔　鉾井修一　脇谷草一郎　柳田明進

P-086 釜尾古墳の装飾の保存に関する研究　―空気の流れを考慮した温湿度解析による結露発生要因の検討―
Study on conservation of decorated chamber walls in Kamao tumulus.
Investigation of the primary factor of dew condensation by analyzing moist air movement in the stone chamber
芥子円香　○小椋大輔　鉾井修一　森田直樹　坂口圭太郎　池田朋生　三好栄太郎

P-087 ハギア・ソフィア大聖堂の内壁の仕上げ材が壁画の劣化に与える影響
Influence of inner finishing materials on degradation of the wall painting in Hagia Sophia
水谷悦子　○小椋大輔　石崎武志　安福勝　佐々木淑美　日高健一郎

P-088 模擬古墳から検討した埋蔵環境下における遺物保存に関する研究
（その２）埋葬主体内部の環境が金属製遺物の腐食速度に及ぼす影響
Experimental research on preservation of buried cultural properties in the stone chamber by means of the simulated tumulus
Part2: Effect of environmental factors on corrosion rate of metal artifacts buried in stone chamber
○柳田明進　脇谷草一郎　安井洋之　小椋大輔　高妻洋成　鉾井修一

P-089 トレハロース含浸処理法における含浸と結晶化のイメージ（その２）-木材内部の結晶化進行具合について-
Study of impregnation and crystallization in trehalose method (Part 2)
-For crystallization progress of the internal wood-
○伊藤幸司　藤田浩明　高妻洋成　今津節生　新井成之　三宅章子

P-090 トレハロース含浸処理法における含浸と結晶化のイメージ（その１）-Ｘ線ＣＴスキャナによる含浸具合の可視化-
Study of impregnation and crystallization in trehalose method (Part 1)
-Visualization of impregnated condition by Xray Computed Tomography-
○伊藤幸司　藤田浩明　小林啓　今津節生

P-091 トレハロース含浸処理後木材の走査型電子顕微鏡観察
Observation of water logged wood by Scanning Electron Microscope using trehalose method
○亀田のぞみ　岡田文男

P-092 X線CTスキャナを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究Ⅱ - 保存処理後の木製品内部における処理薬剤及び水分の分布について -
Basic research concerning the structual analysis of the Waterlogged Wood under a X-ray Computed Tomography
○小林啓　伊藤幸司　今津節生

P-093 福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土資料のX線CTスキャナによる調査
The investigation using the X-rays CT scanner into archaeology object by Funabaru tumuls in Koga City,Fukuoka Prefecture
○小林啓　加藤和歳　山崎悠郁子　森下靖士　甲斐孝司　横田義章　今津節生　輪田慧

P-094 福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土資料の発掘現場における現地調査 - 液体窒素と医療用ギプスを活用した漆塗飾弓の取り上げ-
The investigation in the excavation Site into archaeology object by Funabaru tumuls in Koga City,Fukuoka Prefecture
○小林啓　加藤和歳　山崎悠郁子　森下靖士　甲斐孝司　横田義章　今津節生　輪田慧

P-095 断熱・調湿工法による収蔵庫の庫内環境
Internal environment of the repository constructed by thermal insulation and moisture regulation method
○宮野則彦　宮野秋彦

P-096 鷹島海底遺跡出土木製品へのトレハロース含浸法処理事例報告
Anecdotal report of the trehalose method for marine waterlogged-wood
○合澤哲郎

P-097 出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による保存処理の研究３
Study on conservation of waterlogged wood using freeze-drying method with microwave heating 3
○川本耕三　植田直見　山田哲也　中村秀美

P-098 石灰岩を中心とした炭酸カルシウム系文化遺産の付着微生物とその界面における挙動解析
Analysis of the interface between organisms and the substrate of calcareous materials-based cultural heritage with a focus on limestone
○河崎衣美　松井敏也

P-099 紙素材を用いた大気中の有機酸・アンモニアの除去法に関する研究
Research on the exclusion methods of organic acids and ammonia in the atmosphere using paper materials
○西田典由　大井辰夫　國武哲則　渡辺智恵美

保存科学

モンゴルにおける出土木製品の保存処理について
P-100 Conservation of wooden heritages found in Mongolia
○Oyuntulga Mendbazar　西山要一

保存修復への３Dプリンターの応用事例
P-101 Application examples of 3D printer to Conservation
○塚本敏夫　田中由理　岡田一朗　日下部静香　原田幹　原田昌幸　長野泰幸

真菌による膠分解と温度環境の関係性
P-102 Relation between biodegradation of fungi and temperature
○山内れい　米村祥央　岡田靖

MRIとX線CTを用いた愛知県清須市清洲城下町遺跡出土柿経束の内部性状の可視化
P-103 Visualization for internal property of a bundled kokera-kyō, shingles with sutra inscriptions using MRI and X-ray CT
○山田哲也　木戸晶　藤本晃司　長尾泰輔　小泉幸司　柴垣哲彦　富樫かおり　植田直見

文化財科学一般

島本町・若山神社所蔵の石造狛犬について
P-104 A pair of stone guardian lions of Wakayama Shrine, Shimamoto Town
○朽津信明　佐藤円香　森井順之　前川佳文

江戸初期奈良絵本断片など彩色された考古資料のＸ線分析
P-105 X-ray analysis of "NARA-EHON" of the early period of Edo era.
○高橋瑞紀　藤原学

脂質分析から観えてきた青森県今津遺跡出土縄文土器の用途
P-106 Determination of the use of Jomon pottery, excavated from Imazu Site, Aomori Prefecture, using lipid analysis
○堀内晶子　宮田佳樹　上條信彦

津波堆積物の観察方法について－宮城県岩沼市高大瀬遺跡での観察を基に－
P-107 Observation technique of the tsunami deposit –Based on observation in the Takaohse site–
○渡邉正巳　川又隆央

法勝寺八角九重塔の支持地盤
P-108 Foundation ground for supported nine storied octagonal pagoda"Hakkaku-kuju-no-tou" of Hosho-ji Temple in Kyoto, Japan
○小野映介　河角龍典　柏田有香

熱分解-GC／MS法とクロスセクション法を用いた琉球漆器の分析
P-109 Identification and characterization of Ryukyu lacquer-wares by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and cross-section microscopy analysis
山府木碧　本多貴之　宮里正子　○宮腰哲雄

航空レーザ計測を用いた文化財の記録
P-110 3D LIDER imaging for cultural properties
○岡本篤志　魚津知克　中井淳史　遠藤孝浩

多視点ステレオ技術を用いた瑞巌寺欄間の三次元形状計測
P-111 Three-dimensional shape measurement of a ranma at Zuigan-ji temple using multi-view stereo techniques
○渡邉隆史　運天弘樹　酒井修二　伊藤康一　青木孝文　北野信彦　酒巻仁一　伊奈仁　新野一浩

新しい接着剤の発掘出土品への使用（2）
P-112 Use of the new adhesives for archaeological artifacts(2)
○西村誠治　岩月真由子　赤塚次郎

間欠撮影の実用性
P-113 Practicality of intermittent photography
○伊藤広宣　山路しのぶ　山村健生　山路康弘　森井順之　豊田徹士

敦煌文書料紙における澱粉の使用について
P-114 Starch in Papers of Dunhuang Documents
○坂本昭二　Nathalie Monnet　岡田至弘

三次元計測を用いた芝ヶ原古墳出土銅釧の研究
P-115 Study of bronze bracelets excavated from Shibagahara Kohun by means of 3D measurement
○水野敏典　奥山誠義　北井利幸　柳田明進　小泉裕司　岩本崇

SfMによる近接写真計測の遺跡への応用
P-116 Practical applications of the structure-from-motion for archaeological sites.
○金田明大

SfM各手法による三次元計測の比較
P-117 Comparison of the three-dimensional measurement by each Structure-from-motion technique.
○金田明大

UAVとSfMによる遺跡の三次元計測
P-118 3D Modeling of archaeological site by UAV and SfM.
○金田明大

蛍光寿命測定の文化財材料への応用に関する基礎研究　1
P-119 Preliminary research about the application to the fluorescence lifetime measurement for cultural properties
○佐々木良子　吉田直人　佐々木健

平安期緑釉陶器の色彩学的検討
P-120 Chromatic research of the green glazed ware of the Heian Period
○田中由理

文化財科学一般	P-121	下馬周辺遺跡出土鎧の調査・保存処理 Investigation and preservation of armours excavated in Geba shuhen site in Kamakura City ○初村武寛　塚本敏夫　川本耕三　山田卓司　岡田一郎　植山英史
	P-122	白山信仰関連文化遺産の複眼的記録と一元管理による文化資源の創造と持続的活用 Creation and sustainable use of cultural resource by documentation of cultural heritage from various aspects ○山口欧志　阿部来　宇野隆夫
	P-123	オマーン国沿岸域の港湾都市遺跡およびマリーンイスラーム都市構造の評価 —スールとラス・アル・ハッドを中心として— Evaluation of Marine Islamic urban structure and the port city in Oman coastal areas -Focus on Sur and Ras al Hadd- ○福原啓介　津村宏臣　大場春菜
	P-124	化学組成によるサーサーン・ガラス容器の起源推定：高エネルギー放射光蛍光X線分析法の応用 Provenance study of Sasanian glass vessels by chemical compositional analysis: application of high-energy synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis ○阿部善也　四角隆二　八木直人　中井泉
	P-125	化学組成分析によるローマ期およびビザンツ期のエジプト出土ガラスの起源推定 Provenance study of Roman and Byzantine Egyptian glasses by chemical compositional analysis ○内沼美弥　阿部善也　山花京子　中井泉
	P-126	赤外分光分析法および粉末X線回折分析法による緑土の検討 A Study on terre verte　Using by Infrared Spectroscopy and Powder X-ray Diffraction　Method. ○奥山誠義　鶴真美　池田裕英
	P-127	収蔵および展示環境が考古資料の安定性に及ぼす影響に関する研究 -考古系博物館における温度および湿度環境の把握 Effect of Storage and Exhibition Environment on Degradation of Archeological Objects -Characteristics of temperature and humidity at archeological museum ○奥山誠義　柳田明進　北井利幸　今尾文昭　水野敏典　西藤清秀　菅谷文則
	P-128	高松塚古墳出土青色顔料の成分分析 Identification of Blue Pigment excavated from Takamatsuzuka Moumded Tomb ○奥山誠義　北田正弘　柳田明進　西藤清秀　菅谷文則
	P-129	三次元コンピュータグラフィックスを用いた遺構内空間の復元—北部九州弥生時代の甕棺墓を対象として— Reconstruction of the jar-burial construction in the Yayoi period in Northern Kyushu Using the Three-Dimensional Computer Graphics ○新屋敷久美子　中園聡
	P-130	3D laser scanningの動物考古学への応用 The application of 3D laser scanning to Zooarcheology ○菊地大樹　平澤麻衣子　松井章
	P-131	土器製作具のすり減り過程の三次元的検討—製作者個人の動作の復元を目指して— A three dimensional examination of the wearing down of pottery making tools as it relates to the potter's physical movements ○平川ひろみ　中園聡　太郎良真妃　川宿田好見　白井菜実　福島花咲里
	P-132	三次元計測による土器製作工程の記録—北タイの土器製作者とその技術— Three-dimensional digitization for recording of the pottery making process and understanding of the potters' skill in northern Thailand ○太郎良真妃　平川ひろみ　川宿田好見　中園聡
	P-133	寒冷地における遺物収蔵および搬送方法の検討（Ⅰ） Examination method to carries and safekeeping of the remains in cold districts（Ⅰ） ○田口尚　菅原いよ
	P-134	FMCWレーダ装置による土壁の非破壊検査の試み Non-destructive inspection of clay wall using FMCW radar apparatus ○藤原裕子　藤井義久　簗瀬佳之　森拓郎　吉村剛　中島正夫　堤洋樹　森満範　栗崎宏
	P-135	浄瑠璃寺三重塔内部彩色の剥落顔料片の分析 Analysis of peeled pigments of Architecture Decoration in Three-storied Pagoda at Joruri-ji Temple ○森正和　多田牧央　今井崇人
	P-136	土器製作者のリズムと動作—モーションキャプチャを用いた身体技法の記録・分析—（第4報） Potters' rhythm and motion: recording and analysis of the body techniques using motion capture technology －Ⅳ－ ○川宿田好見　中園 聡　平川ひろみ
	P-137	京都盆地中西部低地、向日市寺戸川縦坑・河床堆積層の文化財科学的研究 An Archaeo-Scientific Study on the Fluvial Deposits of Terado-gawa Shaft in Mukou City, the Mid-western Lowland of the Kyoto Basin ○矢野健一　中塚良　佐々木尚子　浦蓉子　杉沢淳司　木村啓章　辻本裕也
	P-138	石垣刻印データベースによる生産地推定と作業集団の復元 -小豆島大坂城石垣石切丁場跡を対象として- Guess of production center and group by Database of sign ○高田祐一
	P-139	都幾山慈光寺所蔵　木造伝毘沙門天立像の再修復処置について The Study of Reconservation for Wooden Statue of Vaisravana ○関根理恵　辻賢三　石栗太　相蘇春菜
	P-140	三次元形状計測による前近代石割技術検討の新手法 The research of quarrying technique by three-dimensional measurement ○高田祐一　広瀬侑紀　福家恭　藤田精

文化財科学一般	P-141	赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 2 Study on effectiveness for the painting materials investigation by the infrared photography method 2 ○秋山純子　森實久美子
	P-142	キルギス出土のシルクロードのガラスと日本の古代ガラス Silk Road glass excavated from Kyrgyzstan, a comoerison with ancient Japanese glass ○澤村大地　柳瀬和也　松崎真弓　中井泉　セルゲイ・ラプチェ　A.イシラリエバ
	P-143	古代エジプトおよびメソポタミアのガラス・セラミックス生産における青銅のリサイクル Recycling of bronze in the production of glass and ceramic in the ancient Egypt and Mesopotamia ○大越あや　阿部善也　中井泉　菊川匡　四角隆二
	P-144	火炎土器の用途分析 Usage analysis of the Flame style pottery ○西田泰民　吉田邦夫　宮尾亨　宮内信雄　Oliver Craig　Carl Heron
	P-145	応力変化を視座にする古墳時代中期短甲の研究 Research of stress variation of Tumulus period armor ○大江克己　清水早織　西山要一
	P-146	GISを用いた遺構情報のデジタルアーカイブと地理的分析―平城京を事例として― GIS based Geographic analysis and digital archive of archeological remains:A case study of Heijo-kyo, ancient capital city in Nara ○河角龍典　今村聡
	P-147	斑晶に着目した新しい石器観察法 Protocol of Pherocryst Microscopic Observation Method for Study of early palaeolith ○上峯篤史
	P-148	カンボジアにおける遺跡分布と都城形成および立地から見た景観変遷 －文化遺産情報資源共有化プロジェクトと基盤構築状況－ Landscape transitions analyzed by GIS database of Cambodia (Khmer) Archaeological cultural properties ○津村宏臣　堀野昌美　茂木孝太郎
	P-149	Kom al dibaiya遺跡における詳細地形図作成と周辺微地形評価 The micro morphological mapping and evaluation of surrounding area geomorphology in Kom al dibaiya ○津村宏臣　長谷川奏　茂木孝太郎　渡邊俊祐
	P-150	文化財情報の自己組織化による可変的データ構造基盤構築 - STISおよびFICXの開発と運用（東南アジア文化遺産と関連して） - The kinetic data infrastructure built by the information self-organization of cultural heritage. - With Development and operation of FICX and STIS - ○竹内俊貴　津村宏臣
	P-151	古代クメール都市サンボー・プレイ・クック遺跡群の環濠地区内における文化層の検出状況 Detected state of the cultural layer in the moated City area at the ancient Khmer monument, Sambor Prei Kuk ○菅澤由希　下田一太　チュン・メンホン　原口強
	P-152	岡山県井原市出土の中世に属する焼人骨と供伴遺物の研究 Study about Burned Human Bones and Archaeological Rremains Belonging to the Middle Age, from Ibara City, Okayama Prefecture. ○富岡直人　足立望　高田知樹
	P-153	近赤外線撮影法による長福寺本堂内陣柱迦陵頻伽図の図像調査 The Iconographical research of the Kalavinka image on a pillar in Chofuku-ji Temple, based on the near infrared photographing technology. ○青木智史　大山明彦　池田藍子　鶴真美　山田宏
	P-154	宮崎県・鹿児島県出土ガラスの化学組成から見た日本の古代ガラスの流通に関する研究 Study of Distribution of Ancient Glass in Japan by Chemical Compositions of Glass Excavated from Miyazaki and Kagoshima Prefectures ○柳瀬和也　松崎真弓　澤村大地　橋本英俊　東憲章　永濵功治　中井泉
	P-155	土器様式はなぜ維持され、なぜ変化するのか-科学的方法を用いた追跡調査による土器製作者の安定性・無意識的模倣とそのメカニズム- Maintain and change of pottery style: investigation of the mechanism of potter's stability and unconscious imitation by the follow up survey using the scientific methods ○平川ひろみ　中園聡
探査	P-156	地中レーダ探査における地形補正の有効性と必要性－天理市西山古墳の探査例－ Efficacy and necessity of terrain correction for GPR survey－example of a survey at Nishiyama kofun－ ○岸田徹　桑原久男　小田木治太郎
	P-157	可児市大萱古窯跡における探査と発掘の連携 A Collaborative project of archeological prospection and excavation at Oogaya kiln site in Kani City, JAPAN. ○金田明大　長江真和　西口和彦　ナワビ矢麻　今城未知
	P-158	萩反射炉における地中レーダ探査を用いた健全度調査 Investigation of soundness at Hagi Reverberating Furnace using Ground Penetrating Radar ○高瀬尚人　小林恵　田村晃一　柏本秋生
	P-159	九十九里地域における古墳のレーダー探査 Radar exploration of the tumulus in Kujukuri region ナワビ矢麻　今城未知　○金田明大

文化財防災	P-160	陸前高田市被災民俗資料の安定化処理と抜本修復 ―生業用具および民俗芸能用装身具を対象にして― Stabilization Treatment and Restoration on Tsunami Damaged Folkloric Objects Recovered from the Rikuzentakata City Museum – Focusing on Occupation Tools and Personal Ornaments for Folk Performing Arts. 目時和哉　○武田昭子　小野詩織　白石采加　赤沼英男　熊谷賢
文化財と教育	P-161	専修学校における保存修復教育の一例－文化財の保存と活用についての実践教育－ An example for conservation education in a vocational school - Practical education on conservation and utilization of cultural heritage - 伊藤久実　小野慎之介　石井美恵　○松田泰典
	P-162	テラヘルツ波透過および反射分光による土器の非破壊検査 Non-destructive inspection for earthenware by terahertz wave transmission and reflection spectroscopy. 近藤啓司　水津光司　○山本直人
	P-163	環境教育手法を取り入れた古文化財教育事例報告：奈良県明日香小学校での出前授業 Report on education of archaeological sciences as environmental education ○下岡順直　本庄眞　野口淳
	P-164	高等学校日本史における「文化財科学」の教材化と授業実践 The Development of Teaching materials and Teaching Practice about "Cultural Studies Science" in Japanese History for high school ○難波道成
	P-165	小豆島におけるパブリックアーケオロジーの実践と教育・普及効果について About the education and dissemination effect in Public Archaeology at Shodoshima-island 福原啓介　○岸田徹　川宿田好見　湯佐安紀子
	P-166	環瀬戸内海地域における文化多様性と学校教育の現状と課題 Present of cultural diversity and school education in Seto Inland Sea district. ○福原啓介　山口雄治　津村宏臣
	P-167	戊辰戦争戦没者の墓石の劣化調査 Degradation research of Boshin war gravestone 渡邊ゆきの　○魚島純一
	P-168	徳島県立鳥居龍蔵記念博物館所蔵のガラス小玉の分析 Analysis of the glass beads collected Tokushima Prefectural Torii Ryuzo Memorial Museum 長谷川愛　○魚島純一
	P-169	文化財科学の諸方法を活用した研究体験―鹿児島国際大学における日本学術振興会「ひらめき☆ときめきサイエンス」の活動― "HIRAMEKI☆TOKIMEKI SCIENCE (Welcome to a University Research Lab-Science That Inspires and Inspirits) in the International University of Kagoshima: Using the Methods of Archaeological Science 福島花咲里　萩原栞　平川ひろみ　太郎良真妃　楊 帆　川宿田好見　○中園聡
	P-170	名柄遺跡（奈良県御所市５世紀）出土モモ核の分類 A study of unearthed peach pits at Nagara site：there was in Gose City, Nara Prefecture at fifth century 生田依子　飯田真璃　太田凪虹　後藤美香　串田茉美　鶴田昴平　藤麗咲　森裕司　吉川悠　藤田和尊　○金原正明

企業広告・機器展示・図書頒布

（五十音順、敬称略）

● 広告掲載企業 ●
（13 社）

株式会社アクト
エクスロン・インターナショナル株式会社
大塚オーミ陶業株式会社
株式会社古環境研究所
有限会社 シスコム
トーリ・ハン株式会社
株式会社ニコンインステック
株式会社ノードグラフ
株式会社　パレオ・ラボ
富士シリシア化学株式会社
株式会社三ツワフロンテック
株式会社リガク
Beta Analytic Inc.

● 機器展示企業 ●
（15 社）

アジレント・テクノロジー株式会社
エクスロン・インターナショナル株式会社
大塚オーミ陶業株式会社
株式会社加速器分析研究所
光明理化学工業株式会社
株式会社サビア
株式会社　三友商行
株式会社東陽テクニカ
株式会社とっぺん
トーリ・ハン株式会社
株式会社ニコンインステック
株式会社二コン・トリンブル
株式会社　パレオ・ラボ
株式会社三ツワフロンテック
株式会社リガク

● 図書頒布企業 ●
（4 社）

海青社
新泉社
有限会社　真陽社
株式会社古環境研究所

口頭発表
Oral Presentations

場所：A～C会場

日時：7月5日（土）

午前　9:30～12:20

7月6日（日）

午前　9:00～11:30

午後 14:15～16:09

蛍光X線分析による長福寺本堂内陣柱迦陵頻伽図彩色の材質調査

X-ray fluorescence analysis of the painting materials used in Kalavinka image on a pillar in Chofuku-ji Temple.

○青木智史(奈良教育大学)、大山明彦(奈良教育大学)、池田藍子(奈良県教育委員会文化財保存事務所)、
山田宏(奈良県教育委員会文化財保存事務所)

○AOKI Satoshi, OYAMA Akihiko, IKEDA Aiko, YAMADA Hiroshi

1. はじめに

奈良県生駒市に位置する長福寺の本堂は鎌倉時代に建立された建物であり重要文化財に指定されている。本堂内陣の柱や長押、小壁などに残された彩色図像の中には 13 世紀後半に描かれたと考えられる作品があり、本調査の対象となった迦陵頻伽図(かりょうびんが)もその一つである。本調査に先立って実施した近赤外撮影法による図像調査の結果、内陣柱(柱 ほ六)下部には縦笛を奏で片足立ちをする迦陵頻伽やその周囲に流麗な唐草文が描かれていることが詳しく明らかになった。しかしながら、現状では経年劣化のため一部を除いて図像の彩色は判然としない。赤色部や金色部分以外については、肉眼では当初色を推定することは困難である。そこで、自然科学分析により各部分の含有元素を明らかにすることで当初彩色の推定に資する情報の獲得を試みた。赤外線調査により詳細な図像情報が得られたため、彩色が施された部分の位置情報は判明している。よって、これを基準としてハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を用いた迦陵頻伽図の彩色材質調査を実施した。分析に際しては彩色復元の観点から専門家の助言を得、復元上必要と考えられる部分を選択して 65 箇所測定を行った。

2. 分析

分析には、OLYMPUS 製ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置 DELTA DP-2000 Premium を用いた。同装置は、測定部に小型の CCD カメラを備えリアルタイムで分析箇所を正確に確認できる。また、最小で 3 mm 径の範囲で測定することが可能であるため彩色調査にも十分に活用しうる性能を有している。測定条件は、下記の通りである。励起用 X 線ターゲットは Rh、管電圧は 40kV(軽元素測定時は 15kV)、管電流は 200 μA、測定部径は 3mm (Mining モード)または 10mm(Soil モード)、計測時間は 280 秒である。測定対象が柱に描かれた彩色図像であるため解体現場建屋およびプレハブ建屋内で測定を行う必要があり、分析は大気雰囲気で行った。また、測定は、装置を三脚に固定し彩色表面から 1mm 程度離した状態で非接触・非破壊にて行った。

3. 結果および考察

迦陵頻伽図の分析に先立ち、天井冠木長押(かぶきなげし)の一部に残された鮮やかに当初彩色が残されていたため、その部分の蛍光 X 線分析を実施し迦陵頻伽図調査の基礎とした。同部分には、緑、青、赤、橙、そして下地の白を確認することができる。分析の結果、主要成分として緑色部や青色部からは Cu が、赤色部からは Hg が、橙色部からは Pb が検出されており、それぞれ岩緑青、岩群青、水銀朱、鉛丹が用いられていると推定される。また、すべての白色部を含む測定点から Al、Si、Fe が主要成分として検出されており、白土下地および表面に塗布されている漆などの成分が反映されていると考えられる。この天井冠木長押の測定結果から、少なくとも長福寺内陣の彩色には岩緑青、岩群青、水銀朱、鉛丹、白土が用いられていると考えられる。

天井冠木長押の測定結果を基礎として、迦陵頻伽図の蛍光 X 線分析を実施した。測定結果は、表に示したとおりである。すべての測定箇所から Al、Si、Fe が検出されており、長押と同様の結果となっている。以下具体的な結果を述べるが、基本的な彩色内容は長押と同様であると考えられる。現状赤色の衣部分からは高い濃度での Hg が検出されており、水銀朱が用いられていると判断される。また、現状色で白または黄色を呈する衣部からは、Fe がやや多いが下地部の測定結果とほぼ同様の結果が得らており、白土または黄土の可能性が考えられる。現状黒色の腰紐部からは高い濃度の Cu が検出されており、岩群青または岩緑青の使用が想定される。今回の測定では、腰紐部以外に迦陵頻伽の腿部、羽・大雨覆部の内側、羽・小雨覆部の外側、羽・次列風切部の外側、頭光部、唐草文の花の一部、唐草文の蔓草部、そして迦陵頻伽足元の一様に現状色で黒色に塗りつぶしたように見える下地部分から高い濃度の Cu が検出されている。いずれも、顔料として岩群青または岩緑青の使用が推定される。羽部からは他に現状色でわずかに赤色が確認できる初列雨覆部外側から、Hg と Pb がともに検出されており、他作例にみられるような鉛丹を水銀朱で縁取る彩色が施されていた可能性がある。また、羽の初列風切部外側からは分析箇所中で唯一 Ca が比較的高い濃度で検出されており、胡粉等の使用や隣接する壁材による汚染等についても検討する必要があろう。唐草文の花部からは、先述の Cu 系の顔料のほかに、現状色でも赤色に見える部分から Hg および Pb が検出されている。また、同様の結果が現状黒色の花部からも得られており注目される。少なくとも現状色では Cu 系の顔料が用いられた部分と区別できず、本作においては黒色部について丁寧に分析を重ねていく必要がある。また、現状色で灰色を呈する花部からは Pb が検出されており、鉛丹または鉛白の使用が想定される。なお、紺丹緑紫の原則から考えれば、この現状色灰色の部分が紫の色料に該当する可能性があり、その場合鉛白に有機系の染料を合わせて用いられた可能性も検討すべきだろう。先行分析を行った天井冠木長押でも同様の可能性が指摘できる部分があり注目される。現状色で金色の宝冠部および腕釧部からは Au が検出されており金箔の使用が推定される。迦陵頻伽の顔や腕、腹などの肉身部からは、共通して Pb が検出されており、肌の彩色に鉛白が用いてられていた可能性がある。最後に、柱の最下部に蓮華の蕊が描かれているが現状色では比較的鮮やかな赤色を呈している。一見すると水銀朱のようだが 5 か所分析していずれも Pb が検出され Hg は確認されなかった。色調のみから判断する困難さを示す例といえよう。

以上のように、長福寺本堂内陣柱迦陵頻伽図には当初非常に多彩な彩色が施されていたと推定され、彩色復元に有意な情報の提供が行い得たといえよう。また本研究では、近赤外画像を基礎として現状では見えない部分の分析を実施する手法の有効性も確認できた。今後さらに分析例を増やしたい。

表. 迦陵頻伽図の蛍光 X 線分析結果

図像	部分	現状色	主要検出元素
迦陵頻伽	衣(赤色部)	赤	Al, Si, S, K, Fe, Hg
迦陵頻伽	衣(白色部)	白～黄	Al, Si, S, K, Fe
迦陵頻伽	腰紐	黒	Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Cu
迦陵頻伽	腿	黒	Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu
迦陵頻伽	趾	黄	Al, Si, S, K, Fe
迦陵頻伽	羽・小雨覆(内側)	白	Al, Si, S, Cl, K, Fe
迦陵頻伽	羽・中雨覆(内側)	白	Al, Si, S, Cl, K, Fe
迦陵頻伽	羽・大雨覆(内側)	黒	Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Cu
迦陵頻伽	羽・初列雨覆(内側)	赤	Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Hg, Pb
迦陵頻伽	羽・次列風切(内側)	白	Al, Si, S, Cl, K, Fe
迦陵頻伽	羽・小雨覆(外側)	黒	Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu
迦陵頻伽	羽・小雨覆(内側)	黒	Al, Si, S, K, Ca, Fe, Cu, Pb
迦陵頻伽	羽・初列雨覆(外側)	赤	Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Hg, Pb
迦陵頻伽	羽・次列風切(外側)	黒	Al, Si, P, S, K, Fe, Cu
迦陵頻伽	羽・初列風切(外側)	黒	Al, Si, K, Fe, Ca
迦陵頻伽	頭光	黒	Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu
迦陵頻伽	宝冠	黄～金	Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Au, Pb
迦陵頻伽	顔・肌	黄	Al, Si, S, Cl, K, Fe, Pb
迦陵頻伽	腹・肌	茶～黒	Al, Si, S, K, Fe, Pb
迦陵頻伽	髪	黒	Al, Si, S, K, Fe
迦陵頻伽	腕・肌	黄	Al, Si, S, Cl, K, Fe, As, Pb
迦陵頻伽	腕釧	黄～金	Al, Si, P, S, Cl, Fe, As, Au, Pb
唐草文	花(白 1)	白	Al, Si, Cl, K, Fe
唐草文	花(白 2)	灰	Al, Si, S, K, Fe, Pb
唐草文	花(赤)	赤	Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Hg, Pb
唐草文	花(黒 1)	黒	Al, Si, P, S, K, Fe, Cu, Zn
唐草文	花(黒 2)	黒	Al, Si, P, S, Cl, K, Fe, Hg, Pb
唐草文	花(黒 3)	黒	Al, Si, S, K, Fe, Cu
唐草文	蔓草	黒	Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu
蓮台	蕊	赤	Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Pb
下地	下地(白)	白	Al, Si, S, K, Fe
下地	下地(黒)	黒	Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu

京都市廬山寺に伝わる降魔面の制作技法についての調査

Research on Making Technique for Traditional Festival Mask "Goma-men"

○下出 祐太郎（京都美術工芸大学）、近藤 香菜（下出蒔絵司所）、
遠藤 淳司（京都工芸繊維大学）、成田 智恵子（同左）
○Yutaro SHIMODE (Kyoto College of Arts and Crafts), Kana KONDO (Shimode Maki-e Studio),
Atsushi ENDO (Kyoto Institute of Technology), Chieko NARITA (Kyoto Institute of Technology)

1. 緒言

京都市上京区、京都御所の東隣に天台圓浄宗　大本山 廬山寺が所在している。創建は天慶元年（938 年）と伝わり、正式には廬山天台講寺と言う。本寺院では節分行事である「追儺式鬼法楽」が行われており、"降魔面"あるいは"降魔大師の鬼面"と呼ばれる鬼の面が使用されてきた。制作から数百年が経ち破損の可能性もあることから、今回、復元制作を行うこととなった。本調査では、この復元制作に先立ち、降魔面の制作技法や使用されている素材について分析・検討を行った。

2. 方法

図 1 に、降魔面を示す。この降魔面は鎌倉時代から室町時代にかけての制作と伝わり、頭髪を除く寸法は、長さ 50cm、幅 21cm であった。現状では全面が黒色を呈し、少々の傷と塗膜の剥離がわずかに認められるが、比較的良好な状態を保っている。

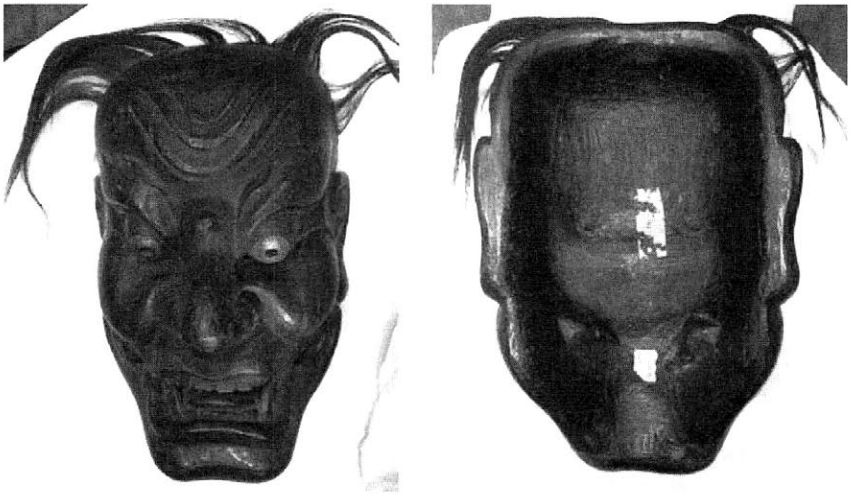


図 1. 降魔面（左：表面，右：裏面）

調査については目視調査に加え、面構造の検討のための X 線調査、面の木地に使われている木材同定のための樹種鑑定、面の頭髪の素材同定のための獣毛鑑定、面の着色塗装の検討のための塗膜片の赤外分光分析を行った。

3. 結果および考察

目視調査の結果、木地は木目あるいは重さからキリもしくはヒノキであると考えられたが、樹種鑑定の結果からはヒノキ科の木材である可能性が指摘された。頭髪に関しては面から抜け落ちたものについて目視調査した結果、約 15cm～20cm の長さでやや太く、黒褐

色や褐色に見え、ササラという鍋洗いの植物繊維に近い外観でもあったが、鑑定の結果、動物の毛が持つキューティクルが確認され、断定はできないもののウマの毛に似ていることが指摘できた。目視調査からはその他に、面の肌が彫刻刀による削り痕により表現されていることが指摘できた。X 線調査から、面の構造は寄木作りであることが明らかとなった。

着色塗装に関しては、目視調査にて面の表面と裏面に違いがあることが見受けられた。裏面については、耳の後ろ等に薄く透けの入った状態が見てとれたことから、漆である可能性が高い。表面については、艶のない黒色塗装であり、ところどころ手摺れによると思われる“てかり”がやや観察された。図 2 に示すように、わずか数か所に米粒の三分の一程度の塗膜の剥落が認められ、真っ白な下地と思われる部位が見えたことから、胡粉下地の可能性が示唆された。艶消しの全体の黒色は、墨色に近い。墨色でも青墨に近く、緑青の風合いも混じっているように感じられた。強調した彫りの凹み部位には、すべてうっすらとした朱色が感じられた。意図的な隈取のようでもあった。

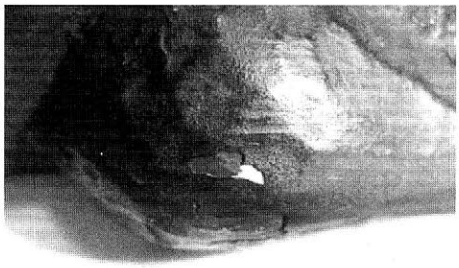


図 2. 塗膜剥落部

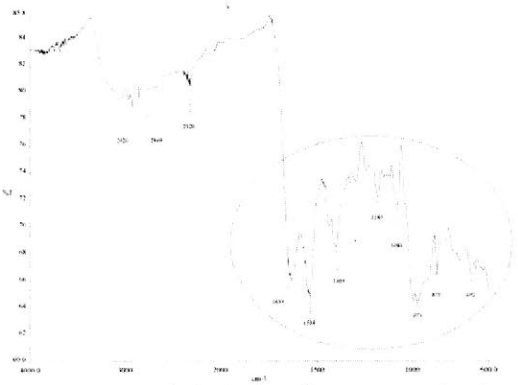


図 3. 表面破片塗膜の赤外分光分析結果

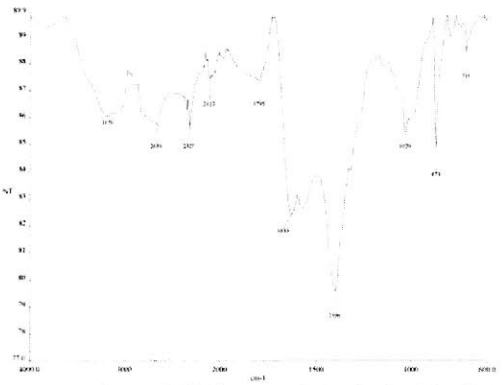


図 4. 裏面破片塗面の赤外分光分析結果

図 3 に、表面の破片の塗膜についての赤外分光分析結果を示す。円で囲ったタンパク質と思われるピークを膠のデータと比較した結果、表面の塗膜は膠と近い値を示した。したがって表面の塗膜は漆ではなく、顔料を膠で溶いたものが塗布されたものと考えられる。図 4 に、裏面の破片の塗面についての赤外分光分析結果を示す。合成塗料ではなく漆に近いピークを示していることから、経年した漆であると考えられる。

謝辞

本調査につきましてご快諾いただきました廬山寺管長　町田 泰宣氏、またご協力いただきました京都造形芸術大学教授　中村 利則氏、京都府商工労働観光部染織・工芸課「平成の正倉院」づくり推進事業ご担当ならびに京都府仏具協同組合の皆様には、心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

FTIRによる正倉院の絹の分析

Scientific Analysis of Silk Stored in the Shosoin Treasure House Repository by FTIR

○中村　力也（宮内庁正倉院事務所）・成瀬　正和（宮内庁正倉院事務所）

１．はじめに

正倉院は，奈良･東大寺境内にある宝物庫であり，収蔵されている宝物のほとんどは８世紀からの伝世品である。宝物の中でも染織品の数は膨大な数であり，現在も進められている整理によって，その数は十数万点以上になることが見込まれている。しかし，絹で作られた染織品は，多種多様な正倉院宝物の中でも最も脆弱な部類に属し，今後の保存が重要な課題となっている。これまで，電子顕微鏡や電気泳動などの手法を用いて正倉院の絹についての研究を行ってきたが，その劣化に関しては，不明な点が多かった[1)]。本研究では，今日における正倉院の絹の科学的性質に関する知見を得るため，塵粉として整理された絹を偏光FTIRにより分析した結果を報告する。正倉院の絹と現代の絹の偏光FTIRスペクトルとを比較し，偏光特性の違いについて考察した。

２．実験方法

２－１．正倉院の絹

本研究に用いた正倉院の絹は，塵粉として整理された繊維片である。塵粉の中から，白茶色・黒紫色・赤橙色の絹の繊維片を選び出し，FTIRに供した。

２－２．FTIR

FTIRには，日本分光㈱製VIR－100にZnSeプリズムを取り付けた装置を用い，全反射吸収（ATR）法により分析した。ZnSeプリズム上に繊維片を載せ，装置に偏光子を挿入し，繊維軸方向に対して0, 30, 60, 90 ° の偏光スペクトルを取得した。測定条件は，分解能：4 cm^{-1}，積算回数：16回である。

３．結果と考察

絹のFTIRスペクトルには，1626 cm^{-1}にアミドIバンド（C=O伸縮振動に帰属），1507 cm^{-1}にアミドIIバンド（N－H変角振動に帰属）がみられる。これらの波数は，絹のフィブロイン分子のβ－シート構造に特有である。現代の絹，正倉院の塵粉から選んだ白茶色・黒紫色・赤橙色の絹を，それぞれ繊維軸方向に平行な偏光と垂直な偏光により分析した偏光スペクトルを図１に示す。図２は，それぞれの絹について，0, 30, 60, 90 ° の偏光スペクトルにおけるアミドIバンドとアミドIIバンドの吸光度をプロットしたものである。現代の絹については，アミドIバンドの吸光度は，0から60 ° へと偏光角度を変化させると増大し，60～90 ° の偏光角度では，強度はほぼ一定であった。アミドIIバンドについては，0から90 ° へと偏光角度を変えるにつれて，吸光度は減少した。塵粉から選んだ白茶色・黒紫色・赤橙色の絹のアミドIバンドは，0から60 ° へと偏光角度を変化させると吸光度が増大し，現代の絹と同じ偏光特性を示した。一方，60から90 ° へと偏光角度を変えた場合にも，吸光度の増加がみられた。アミドIIバンドについては，30から60 ° へと偏光角度を変えたときに，吸光度の減少が顕著であ

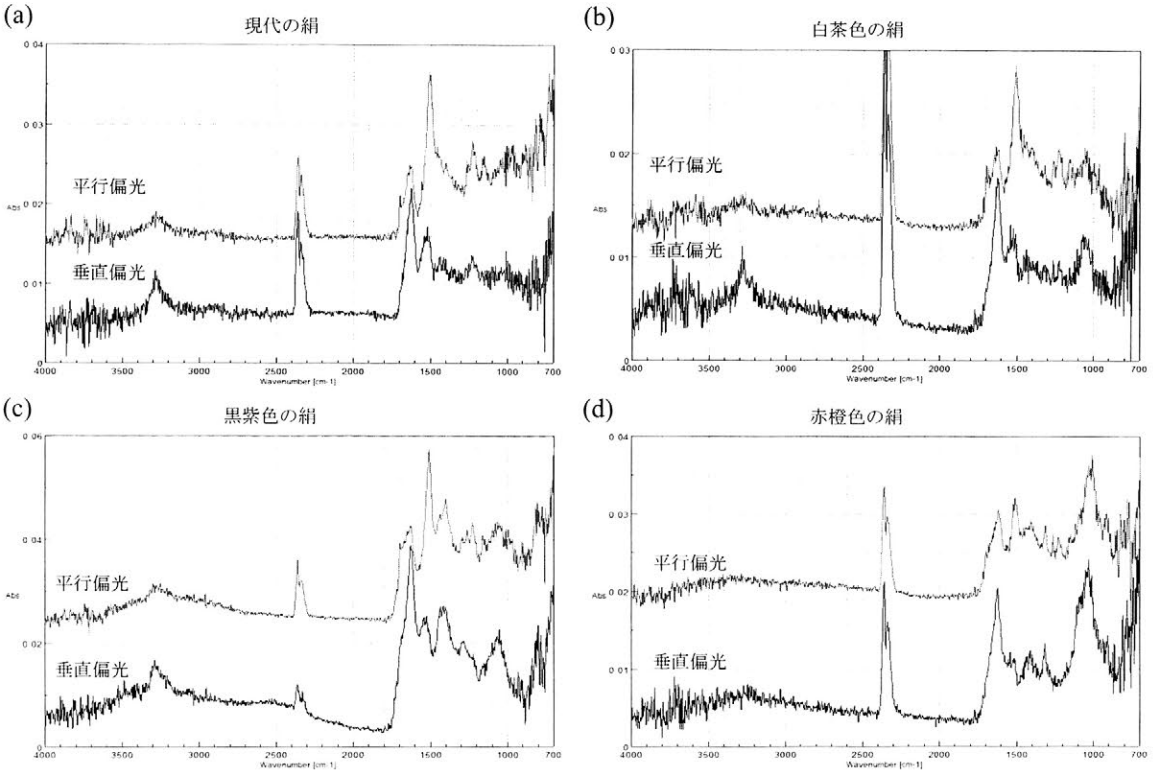


図１　現代の絹および塵粉から選んだ絹の偏光スペクトル：(a) 現代の絹, (b) 白茶色の絹, (c) 黒紫色の絹, (d) 赤橙色の絹.

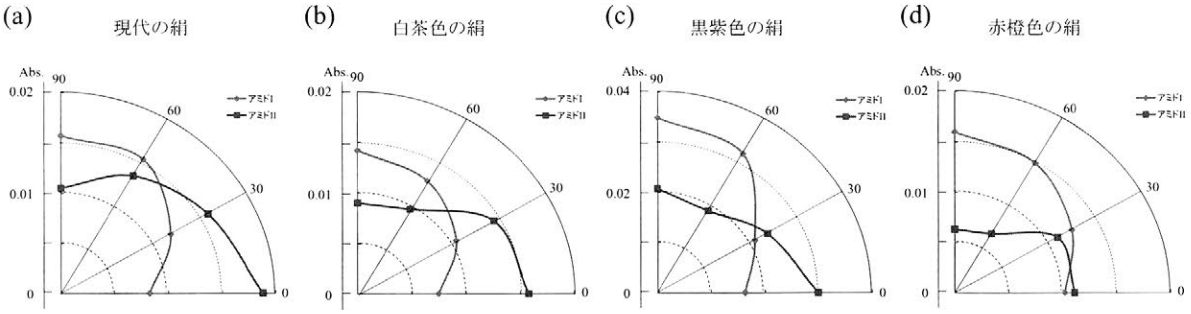


図２　絹の偏光スペクトルにおけるアミドI・IIバンドの吸光度の偏光プロット：(a) 現代の絹, (b) 白茶色の絹, (c) 黒紫色の絹, (d) 赤橙色の絹.

り，60 から 90 ° における吸光度はほぼ一定であった。これらの偏光の挙動は，現代の絹とは異なっており，塵粉から選んだ絹分子の配向が経年により変化したことを示している。

４．さいごに

本発表では，正倉院の絹を偏光 FTIR により分析した結果について述べた。正倉院の絹は，現代の絹とは異なる偏光の挙動を示し，分子の配向に変化が生じていることが示唆された。

参考文献

1) 中村力也, 成瀬正和, 尾形充彦, 文化財保存修復学会第 29 回大会研究発表要旨集, 104–105（2007）.

三次元形状計測を用いた資料の管理について

About management of the data using three-dimensional geometry measurement

○北井利幸*1、奥山誠義*2, 柳田明進*2, 今尾文昭*2, 水野敏典*2, 西藤清秀*2, 菅谷文則*1,2
○Toshiyuki Kitai*1, Masayoshi Okuyama*2, Akinobu Yanagida*2, Fumiaki Imao*2, Toshinori Mizuno*2, Kiyohide Saito*2, Fuminori Sugaya*1,2
＊1:奈良県立橿原考古学研究所附属博物館 The Museum, Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture
＊2:奈良県立橿原考古学研究所 Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture

1. はじめに

奈良県立橿原考古学研究所附属博物館では国指定文化財を含む所蔵・保管資料の他館への貸出を年間約30～40件行っている。資料の状態は貸出前に作成する調書とその都度撮影する記録写真をもとに管理している。しかし、貸出に伴う移動による物理的な変化や展示・保管環境の変化による化学的な変化、経年変化については微細な変化のため、こうした資料管理では限界がある。ごく稀に生じる資料の破損は、梱包作業や展示作業中の人為的な原因によるものと視認できない経年変化により生じるものと想定される。橿原考古学研究所ではこれまで行ってきた三次元形状計測の技術を資料管理に応用し、視認できない経年変化を記録する方法を検討し、資料の管理水準の向上に努めている。本研究では資料を貸出する前後に三次元形状計測を行い、資料の微細な形状変化を分析した。

2. 計測方法と対象資料

計測方法は対象資料の貸出前、返却後、常設展示に戻した後に計測を行った。その3回の計測画像をパソコン上で比較した。三次元形状計測装置はGOM社製のATOS IIとATOS Compact Scan5 Mシステムを使用した。計測点間距離は前者が 80μm、後者は 62μm である。計測データはGoldenSoftware社製のsurferを使用して図化した。

対象資料は奈良県桜井市纒向遺跡から出土した木製高杯である。1971～72年に行われた調査で出土し、凍結乾燥処理をされ、当館で常設展示している。ケヤキ製で、表面に漆と朱が塗られている。2013年10月5日から11月10日にかけて三重県の斎宮歴史博物館で開催された特別展に出品するため、貸出前の2013年9月6日と返却後の2013年11月23日、常設展示室に戻した約2ヶ月後の2014年1月25日に三次元形状計測をおこなった。なお、本資料を展示しているケースは高気密展示ケースではなく、年間を通して緩やかに温湿度が変化している。計測をおこなった2013年から2014年では、9月上旬の温度は 25.5～28.6℃、湿度は 56.0～60.4%、11月下旬の温度は 13.9～19.2℃、湿度は 46.9～55.8%、1月下旬の温度は 9.9～17.2℃、湿度は 41.8～45.8%である。

3. 結果

3回の計測データは図1に示した。1・2回目の計測データを比較したところ横断面で最大 80μm の差を確認した(図2)。ただし、1回目と2回目では三次元形状計測装置が異なること、計測点間距離が

62～80μm であることを踏まえると、資料の変化ではなく計測誤差によるものと考えられる。2・3 回目の計測結果に差を認識できないことからも機器による計測誤差の可能性が高い。

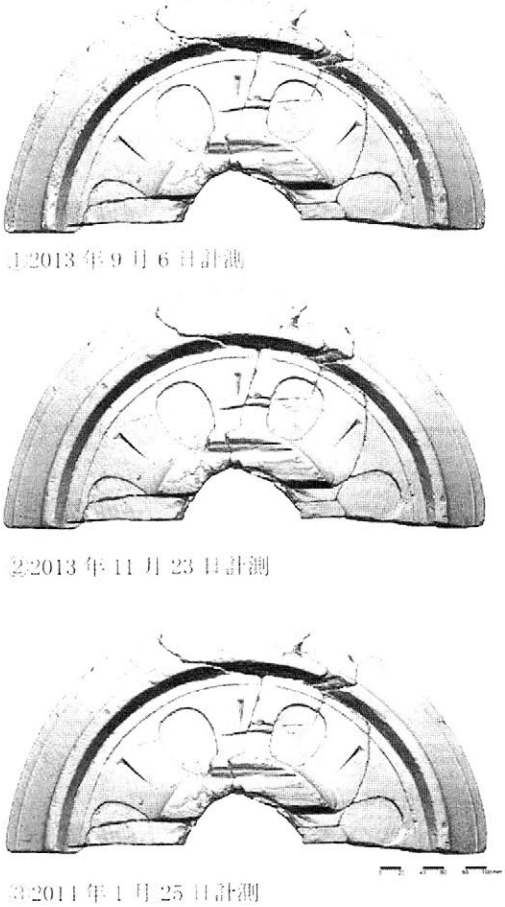
4. まとめ

博物館展示資料、特に金属製品や木製品などは展示室の環境や貸出に伴う移動の振動[註1]により微細な変化の生じる可能性が高い。こうした環境の変化や振動による微細な変化の積み重ねに起因する破損は突然生じたように捉えられるが、定期的に三次元形状計測を行うことで経年変化を記録でき、破損した際の原因の検討を行うことも可能となる。

今回の計測結果では変化を認められなかったが、今後は対象を脆弱な資料や国宝・重要文化財等指定文化財に広げ、資料管理の新たな手法として確立することを目指し、調査・研究を進めていく。

本研究は増永光令より技術的な協力を受けた。なお、本研究は平成 25 年度日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A) 課題番号 25242025、JSPS KAKENHI Grant Number . 25242025)「藤ノ木古墳出土品からみた考古系博物館における展示・公開に関する総合的研究」(研究代表:今尾文昭)の成果の一部である。

註1 貸出に伴う移動による振動については橿原考古学研究所の西藤清秀氏(日本学術振興会科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)「文化財美術品搬送における振動および温湿度環境」(研究代表:西藤清秀))により調査・研究が行われている。



①2013 年 9 月 6 日計測

②2013 年 11 月 23 日計測

③2014 年 1 月 25 日計測

図1 木製高杯の三次元形状計測画像

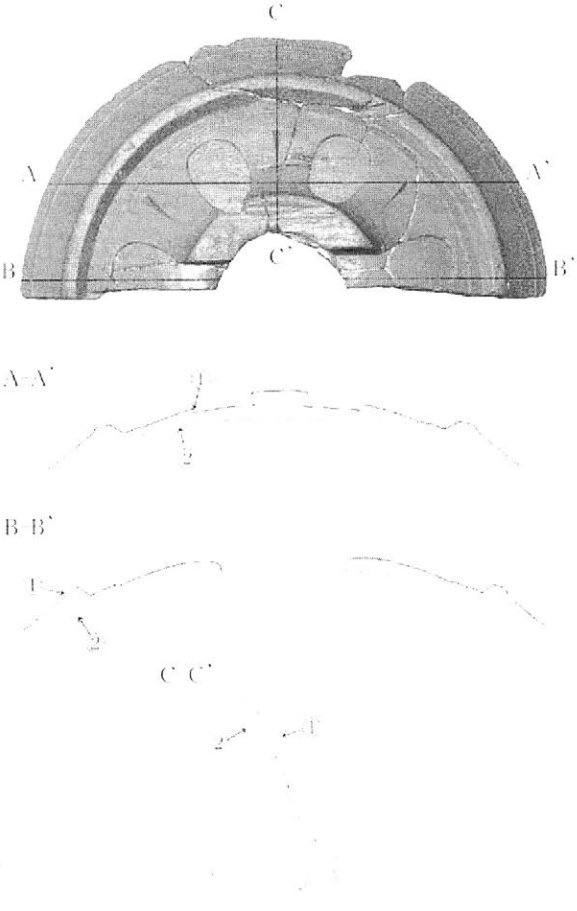


図2 貸出前(①)と返却後(②)の外側断面の比較

鑑真が将来した四分律と，正倉院聖語蔵経巻および ある四分律の古写経切との関係 ―年代測定・顕微鏡観察・書誌学的考察の結果から―

Relation between the Shibunritsu sutras brought to Japan by Ganjin and the rolls of Shibunritssu sutras possessed by Shosoin and a certain fragment of ancient Shibunritsu sutra: On the result of radiocarbon dating, microscope observation and bibliographical consideration

○小田寛貴（名古屋大学年代測定総合研究センター），坂本昭二（龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター），安 裕明（茨城県立多賀高等学校）

鑑真は，五度の渡航失敗と失明の上，753年に来日を果たした唐の高僧である．翌754年に平城京へ入京し，755年に東大寺戒壇院を，759年に唐招提寺を創建したことで広く知られている．しかし，受戒と戒律の伝習に関して一任を受け，日本律宗の開祖となったことも，鑑真の大きな功績として挙げられる．鑑真は来日に際し，多くの経典・仏像・仏具・香料・薬をもたらした．その中でも，特に重要なものの一つが，僧侶の守るべき戒律や組織運営の規則を記した60巻の四分律である．

現在，正倉院の聖語蔵には三種類の四分律が収められている．天平十二(740)年御願経四分律31巻・唐経四分律16巻・神護景雲二(768)年御願経四分律1巻である．この内，天平十二年御願経四分律は，光明皇后が父母の冥福を祈り書写させた一切経(天平十二年五月一日の願文から「五月一日経」の名で知られている)に含まれるものである．しかし，本文や巻数には誤記等が多く，朱書・白書による訂正跡が散見される．一方，唐風の楷書体で書かれた唐経四分律は訂正がほとんどなく，正しい本文をもつものである．正倉院文書に見られる四分律の補訂再編に関する研究によって，この唐経四分律は，鑑真によってもたらされた四分律そのものである可能性の高いことが指摘されているものである[1]．

本研究の目的は，この正倉院聖語蔵唐経四分律のツレ(元は同一のシリーズであった経巻の断簡)と思われる古写経切「四分律巻第二十七断簡」について，年代測定・顕微鏡観察・書誌学的考察を行い，その書写年代を明らかにするところにある．

本研究の分析対象とした古写経切「四分律巻第二十七断簡」(以下，対象切)は，著者の安が所蔵するものであり，「五月一日経」という極札をともなっている．しかしながら，書跡史学的にも，また^{14}C年代測定の結果からも，極札の記述が不正確なことは知られている．そこで，まずは対象切と，五月一日経(四分律巻十七)・唐経四分律の法量・界高等を比較した(表1)．三者とも，法量・界幅に有意な差異は認められないが，五月一日経の界高は他に比べてやや低く，また，字の大きさ・字間は対象切と五月一日経とで異なっている．

次に，対象切についてデジタル顕微鏡(KEYENCE社製，VHX-1000)による観察を行い，唐経四分律巻十八について得られている結果[3]との比較を行った(表2)．簀目・紙厚は両者で一致しており，方形の透明な結晶(Cubic Crystal)の混入・打紙加工の跡がともに確認されている．以上の書誌学的計測と顕微鏡観察の結果から，対象切は，極札にある五月一日経と

するよりも，鑑真将来経とされる唐経四分律のツレと判断できる．また，大規模な写経事業にともない大量の料紙が必要となるため，古紙も材料とする透き返しの紙である可能性がある．但し，不純物に相違がみられる一方で，Cubic Crystal と小さな粒子の存在が確認できることから，新しい楮繊維を主体として補助的に古紙を用い，同じ填料や染色繊維を使用したものと考えられる．

それ故，料紙の年代は書写年代に近いものと考えられるため，対象切について ^{14}C年代測定を行った．対象切に裏打紙の無いことを確認した後，超音波洗浄，HCl・NaOH による処理，グラファイト合成を行い，㈱パレオ・ラボ Compact AMS によって ^{14}C年代を得た(表３)．その結果は，７世紀半ばから８世紀半ばという，鑑真来日時期以前に相当する年代である．当時の日本には 60 巻完備した四分律がなかったため，対象切は唐で書写された四分律であることになる．また，書誌学的情報・顕微鏡観察から，対象切のツレと判断できる正倉院聖語院蔵の唐経四分律 16 巻の年代も同時期に求められることになり，これらを鑑真の将来した四分律そのものであるとする杉本説を自然科学の面からも支持する結論を得た．

^{14}C年代測定法は破壊分析であり，聖語院蔵唐経四分律等に直接適用することは困難である．しかし，書誌学的情報・顕微鏡観察の結果から，そのツレと判断できる古筆切や古写経切があれば，その ^{14}C年代測定から間接的に年代を得ることが可能となる．本研究は，この間接的 ^{14}C年代測定法を示す初例としての意義も有するといってよいであろう．

表１．対象切(四分律巻第二十七断簡)と五月一日経・唐経四分律の書誌学的計測値の比較

	対象切	五月一日経	唐経四分律		
		巻十七	標準規格 [1]	巻十七 [2]	巻十八 [3]
法量(縦) [cm]	26.1	26.2	26.4	26.2	26.3
界高[cm]	20.1	19.5	20.2	20.2	
界幅[cm]	1.8	1.8	1.8	1.8	
一字の大きさ　:縦[mm]	8.29	9.29			
:横[mm]	10.46	11.75			
字間(縦) [mm]	3.52	2.15			

表２．対象切(四分律巻第二十七断簡)と唐経四分律巻十八の顕微鏡観察結果の比較

	対象切	唐経四分律巻十八 [3]
糸目幅 [cm]	−	2.5
簀目[本]	36～38	36～38
紙厚[mm]	0.08～0.09	0.08～0.09
加工	打紙加工あり	打紙念入り
繊維分析および調査所見	均一な上質の紙に見える．薄膜のある楮繊維を確認．ヤケの繊維は確認できず．方形の透明な結晶，小さな粒子の存在を確認．楮以外の繊維同定には到らず．墨粒子が所々に見られるため，透き返しの紙である可能性がある．	均一な仕上がりの上質紙．麻紙とも楮紙とも言い難い．非常に短いヤケの繊維束(長さ 3-5mm)が入っている．方形の透明な結晶ほか，小さな粒子が多く含まれる．楮を主体として，染色された綿繊維等が混入する．透き返しの紙と考えられる．

表３．対象切(四分律巻第二十七断簡)の ^{14}C年代測定

^{14}C年代[BP]	較正年代[cal AD]
1323±21(1σ)	662(670)684
±42(2σ)	656(670)694, 700()708, 747()765

参考文献
1) 杉本一樹(2007)聖語蔵経巻『四分律』について．正倉院紀要第 29 号，(157)－(218)．
2) 東京国立博物館蔵
3) 正倉院紀要(2010)正倉院宝物特別調査 紙(第２次)調査報告．正倉院紀要第 32 号，(9)－(71)．

住宅建築の ^{14}C 年代調査-石水院、古今伝授の間

^{14}C dating of Sekisui-in and Kokindenju-no-ma teahouse

○中尾 七重、坂本 稔
○Nanae Nakao, Minoru Sakamoto

1. はじめに

日本建築は社寺建築と世俗的な建築に分類され、世俗建築は、上層階級の住宅建築、庶民の職住併用住居、城郭や役所・学校などの施設建築、茶室や数寄屋などの遊興建築に種別される。建築の種類や部材によって、用材の入手方法や樹種、木取りの手法が異なり、そのため建築種別に応じた部材選択や測定結果の解釈が必要であり、建築種別ごとの事例研究が重要である。住宅建築である国宝高山寺石水院(京都市)と数寄屋建築である熊本県指定文化財古今伝授の間(熊本市)の ^{14}C 建築年代調査を行った。

2. 高山寺石水院

国宝高山寺石水院は世界遺産栂尾山高山寺創立期の建築で、貞応3年(1224)に後鳥羽上皇の賀茂別院を移築し、明恵上人(1173-1232)の住坊として寝殿造に改造された。明治31年(1898)に重要文化財、昭和28年(1953)に国宝に指定された。修理工事(2008～9)に伴う年輪年代調査で、文暦二(1235)年に遡る西広庇の付加や神殿の間の改造年代が実証され、旧葺板が西広庇拝所の長葺板と推定された[1]。この旧葺板は年輪年代法の対象外資料であったため、^{14}C 年代調査を実施した。

2011年11月に長葺板試料2点の提供を受け、試料採取を行った。いずれもノタや辺材など表皮に近い部分は無い。各寸法および年輪の計測記録・写真撮影を行い、最外年輪部、最奥年輪部、中間部よりそれぞれ5年輪試料および樹種同定用試料を採取した。採取した試料は、アセトン洗浄、酸・アルカリ・酸(AAA)処理、グラファイト化およびAMS測定を一括して(株)パレオ・ラボに委託した。

高山寺石水院旧葺板の年代測定解析結果は、最外層で石水院1は1048-1076年、石水院2は1191-1224年となった。いずれも辺材が無く13世紀前半以降の伐採である。石水院2は幅270mmの偏心材で、効率的な木取りと解釈するなら、最外年輪層は辺材に近接する可能性がある。その場合、13世紀前半～中期ごろの伐採となり、西広庇が付加された文暦二年(1235)、明恵上人在世時の葺板の可能性がある。

表1 石水院年代調査データ

部材名	総年輪数(辺材)	樹種	年輪番号(外から)	測定機関番号	14C年代(^{14}C BP)	最外年輪の較正年代(確率)	ピーク
長葺板1	102(なし)	コウヤマキ	6-10 51-55 98-102	PLD-15492 PLD-15493 PLD-15494	915±15 1040±20 1095±20	AD1046-AD1075 (95.4%)	AD1067
長葺板2	158(なし)	コウヤマキ	6-10 76-80 154-158	PLD-15495 PLD-15496 PLD-15497	875±20 940±15 915±15	AD1190-AD1224 (95.4%)	AD1213

3. 古今伝授の間

熊本県指定重要文化財古今伝授の間は、国指定名勝史跡水前寺成趣園に所在する数寄屋風書院造建物で、当初京都の八条宮邸にあり、慶長5年(1600)に細川幽斎が八条宮智仁親王に古今伝授を行った。その後長岡天満宮境内に移築、明治4年に部材解体され、大正元年現在地に再建、昭和39年に熊本県指定重要文化財に指定された。文化財修理工事(2009～2010)に伴い ^{14}C 年代調査を実施した。

2010年修理工事中の古今伝授の間において試料採取調査を行った。当初材4部材を選定し、各寸法および年輪の計測記録・写真撮影を行い、書院甲板は3点、天井板は各2点の5年輪試料、面皮柱は成長錐を用いてコアサンプルを採取した。採取した試料は、坂本が有機溶媒で油脂分を取り除いた後,

標準的な酸・アルカリ・酸処理を行った。面皮柱については浸潤した膠除去のために温水での洗浄を繰り返した。グラファイト化およびAMS測定を（株）パレオ・ラボに委託した。

面皮柱は16世紀の草庵風茶室成立以降とする建築史的観点から、16世紀末期から17世紀初頭ごろの伐採と考えられる。1600年頃は炭素年代値が少し大きくなる傾向があり[2]、17世紀初頭の年代範囲が選択される。書院甲板は辺材が製材時に削り落されており、伐採年は16世紀後期以降である。天井板は辺材が無く板幅が狭いため製材時削除分の推測は困難であるが、面皮柱、書院甲板と同時期の17世紀初頭と考えられる。以上の結果から、今回測定した部材が同時期の伐採使用ならば、それは17世紀初頭となる。古今伝授の間の来歴を鑑みるならば、今回の調査部材が古今伝授当初建物の一部であり、細川幽斎により古今伝授が行われた建物の部材である可能性を示唆する。

表2　古今伝授の間年代調査データ

部材名	総年輪数（辺材）	樹種	年輪番号（外から）	測定機関番号	14C年代（^{14}C BP）	最外年輪の較正年代（確率）	ピーク
面皮柱	15（面皮）	スギ	1	PLD-16483	380±20	AD1460-AD1511 (93.5%)	AD1470
			15	PLD-16482	400±20	AD1607-AD1613 (1.9%)	
書院甲板	97（なし）	ケヤキ	1-5	PLD-16377	325±15	AD1534-AD1577 (95.4%)	AD1540
			61-65	PLD-16378	360±15		
			91-95	PLD-16379	410±20		
天井板南十一	32（なし）	スギ	1-5	PLD-16380	375±15	AD1474-AD1523 (88.5%)	AD1487
			26-30	PLD-16381	375±20	AD1603-AD1620 (6.9%)	
天井板南十二	44（なし）	スギ	1-5	PLD-16382	360±15	AD1489-AD1528 (92.3%)	AD1512
			40-44	PLD-16383	370±15	AD1612-AD1622 (3.2%)	

4. おわりに

石水院と明恵上人、古今伝授の間と細川幽斎古今伝授の関連が関係者の関心事だった。住宅建築では面皮柱を意図的に意匠に用いる以外は辺材を取り除いた針葉樹が用材に使用され、最外年輪層年代が伐採年とはならない。今回の年代調査でも建築年代の上限を決定できなかったものの、石水院当初葺板は明恵上人が住まわれた時の屋根板の可能性があり、古今伝授当初部材は細川幽斎が八条宮智仁親王に古今伝授された時の建物の可能性があることが分かった。歴史上の人物や事跡と建築との関係を部材年代調査によって証しようとする試みは困難であるが、取り組む価値のある課題といえよう。

図1　左・中上：石水院長葺板1
　　右・中下：古今伝授書院甲板

謝辞　調査にご協力いただいた栂尾山高山寺、公益財団法人永青文庫、関西大学名誉教授永井規男先生、古今伝授の間修理員会西島眞理子先生に感謝申し上げます。

1 光谷拓実、国宝高山寺石水院の年輪年代測定、関西大学博物館紀要第16号　2010.03.31　pp.41-43
2 中尾・今村、麦島城建築部材の放射性炭素年代測定について、日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集A-18、pp.50-51、2008

酸素同位体比を用いた愛知県稲沢市下津宿遺跡における大量の井戸枠檜材の年代決定

Oxygen isotopic dating for numerous hinoki cypress well frames from Oritsujuku remain in Inazawa, Aichi

○中塚　武（総合地球環境学研究所）、大石恭平（名古屋大学大学院環境学研究科）、樋上　昇（愛知県埋蔵文化財センター）

○Takeshi NAKATSUKA (Research Institute for Humanity and Nature), Kyohei OHISHI (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University), Noboru HIGAMI (Aichi Prefectural Center for Archaeological Operations)

1. はじめに

年輪に含まれるセルロースの酸素同位体比（$\delta^{18}O$）を用いた年輪年代法は、従来の年輪年代法が持っていた多くの利点（1年単位で暦年代が決定できる、迅速・簡便に測定が可能、PEG処理後の資料にも対応可）を受け継ぎ、更に多くの特長（広葉樹を含むさまざまな樹種に応用できる、個体間相関が高いので少ない年輪数でも年代決定可能、気候変動の復元ができる）を兼ね備えた、新しい年輪年代法である。その利用を始めるためには、ヒノキやスギなどの年輪数の多い木材を用いて長期に亘る酸素同位体比の標準変動曲線（マスタークロノロジー）を作成する必要があるが、昨年（2013年）の文化財科学会において演者らは、中部と近畿の各所から採取された多数のヒノキの現生木、建築古材、考古遺物、埋没木の年輪酸素同位体比のデータを組み合わせて、過去2千年以上に亘る連続的な酸素同位体比のマスタークロノロジーを確立した。それは既に、中部や近畿の様々な考古木質遺物の年代決定に利用され始めているが、本研究では、愛知県稲沢市の下津宿遺跡から採取された大量の井戸枠檜材の網羅的な年代決定にこの手法を応用し、全ての板材の1年単位での年代決定に成功したので、その年輪年代学的・古気候学的・考古学的・古植生学的な意義について紹介したい。

2. 木材資料と年輪計測・同位体分析の方法

年輪年代の決定に供した資料は、愛知県稲沢市の下津宿遺跡の14～15世紀の5基の井戸遺構から採取された計27点の井戸の外枠檜材である。各檜材から繊維の方向に直角に厚さ5㎝程度の材を切り出し、まず木口面の画像を取得してパソコン画面上で年輪数と年輪幅の計測を行った（年輪数は72～294年）。こうした板材には元々同じ樹木個体から切り出されたものが含まれる可能性があるので、年輪幅の変動パターンの相同性からその判別を行った。次に異なる個体に属すると認定された資料群のみから、繊維方向に直角な厚さ1㎜の薄板を切り出し、亜塩素酸ナトリウム溶液によるリグニンの分解、水酸化ナトリウム溶液によるリグニン分解物とヘミセルロースの除去、有機溶媒による脂質と色素の除去を行って、セルロース繊維だけからなる薄板を作成し、双眼実体顕微鏡下で各年層から、分析に必要な量（100-300 μg）のセルロースを精密カッターナイフで切り出し、銀箔に包んで熱分解元素分析計（TCEA）と同位体比質量分析計（DELTA V）のオンライン装置を用いて、その酸素と炭素の安定同位体比を測定した。

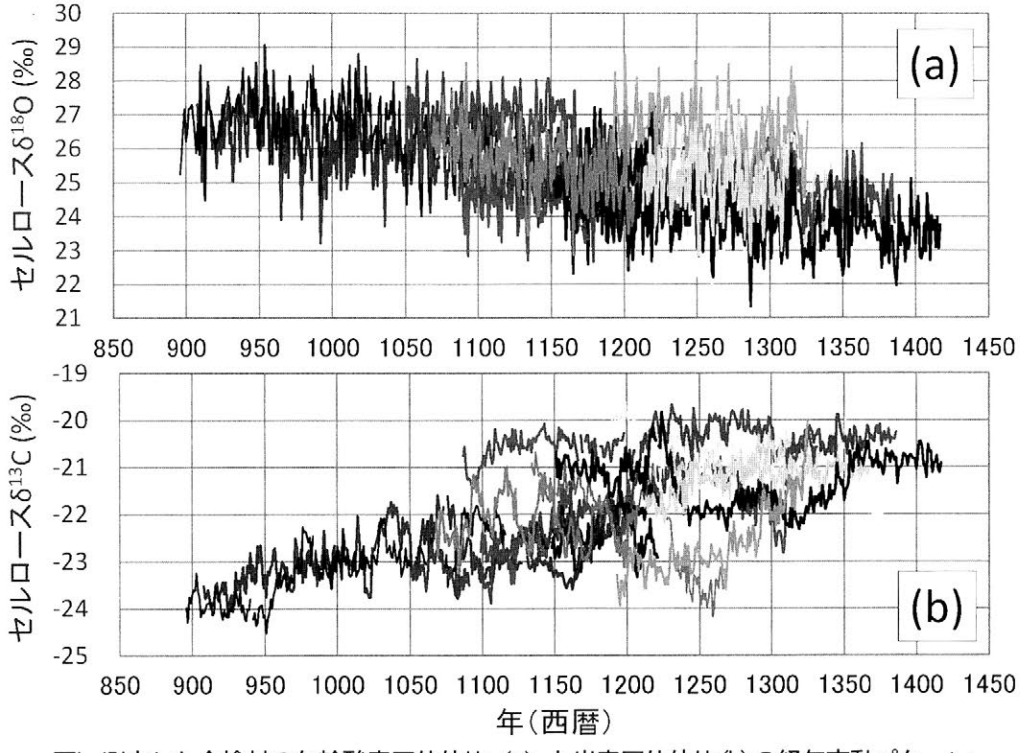
3. 年輪幅と年輪酸素同位体比による年代決定

全板材の間での年輪幅の相互パターンマッチングによって、27点の資料のうち9点は、その全てが他の資料と同じ個体の同じ年代範囲に属するものと推定できた（他資料との年輪の重なり50年以上で、相関係数が0.7以上となる組み合わせがあった）ので、残りの18点について、一部（他資料と重複しない部分）、

もしくは、全部の年層の同位体分析を行った。得られた酸素同位体比の変動パターンを、既存のマスタークロノロジーと比較すると、18点の全ての資料について高い相関係数（0.7程度以上）を示す年代が、一つずつ得られ、年輪幅の対比も含めて、全27点の資料の年輪年代を決定することができた。全井戸枠檜材の年輪年代は、遺跡の年代観と矛盾なく、896年から1417年の間に入ることが分った。

4. 年代決定の年輪年代学的・古気候学的・考古学的・古植生学的意義

今回の研究によって、多数の年輪酸素同位体比の時系列データが得られたので、中部・近畿地方において既に完成していた年輪酸素同位体比のマスタークロノロジーの精度が、中世の時代において、更に著しく向上することになった。また同じクロノロジーが、そのまま中部・近畿地方における夏季の降水量変動のデータにもなるため、クロノロジーの精度の向上は、古気候復元の精度向上にも直結する。多数の井戸遺構の板材の年代を全て一年単位で決定したことは、前例が余りないと考えられるが、今回のような新しいデータセットからは、当時の木材利用の考古学的・古植生学的状況に関する新しい知見が得られる可能性がある。各板材の最外年輪の年代は、井戸毎に概ね同一の時代に揃っており、井戸の考古学的年代観とも矛盾は無かったが、500年を越えるさまざまな年輪年代の板材を利用している井戸も認められた。その理由としては、「木材の再利用の可能性」と「伐採林の樹齢構成が多様であったこと」が考えられるが、檜材の年輪セルロースの酸素・炭素同位体比に見られる樹齢効果（樹齢と共に、酸素・炭素同位体比が徐々に減少・増大する効果）を考慮すると、全データの酸素・炭素同位体比のプロット（下図）からは、当時の檜の伐採地が、天然更新に支えられたさまざまな樹齢の個体からなる森林だった可能性が指摘できる。



図）測定した全檜材の年輪酸素同位体比（a）と炭素同位体比(b)の経年変動パターン

5. まとめと今後の課題

井戸の外枠のような木材資料は、全国の遺跡から大量に発掘されていると考えられるが、その年輪セルロースの酸素（炭素）同位体比を測定することで、年輪年代学・古気候学の精度の向上と共に、考古学・古植生学における未知の知見が、次々に明らかになる可能性がある。貴重な資料群の系統的な分析が進むように、資料の収集・確保・分析・解析の体制を整えることが、重要である。

遺跡発掘木材のC-14年代と年輪年代

Radiocarbon Ages and Dendrodates of Buried Woods Excavated from Archeological Sites

○中村俊夫（名古屋大学）・木村勝彦（福島大学）・箱崎真隆（名古屋大学）
○Toshio Nakamura(Nagoya University), Katsuhiko Kimura(Fukushima University), Masataka Hakozaki (Nagoya University)

1．はじめに

日本では，毎年1万件に近い遺跡の発掘調査が行われているとされる．遺跡の性格は，発掘される遺物の分析から明らかになってくる．また，成立時期や継続時間の検討は，発掘遺物にまざって発見される土器片等の年代を示す遺物を用いて行われる．年代を示すような遺物が無い場合には，理化学的な年代測定法，例えば年輪年代法，放射性炭素（^{14}C）年代法，ルミネッセンス年代法などが適用される．

著者らは，大型の遺跡で，木柱や板材が多量に出土した遺跡，例えば，青田遺跡，真脇遺跡，佐渡の羽茂条里遺跡や東沢遺跡などについて，年輪年代法と^{14}C法を併用して木柱や木材の年代推定を行ってきた．これら二つの年代測定法を併用した調査研究の成果と問題点を述べる．

2．年輪年代法

遺跡から多数の木材，木柱が出土した場合，それらの材の年輪試料の採取が許されれば，これらの木材の年輪解析によって正確な年輪年代の決定される．これが困難な場合でも，木材間の相対的な生存年の対比は可能である．例えば，青田遺跡から出土した木柱では，80本あまりの木柱の年輪解析が行われ，年代の古い47本と若い33本の2つのグループに分かれることが明らかにされた(木村ほか2004)．2011年頃は，まだ暦年代が決まっておらず，年輪解析から両グループの年代差が91年と暫定的に与えられていた．この間，幾つかの木柱について^{14}Cウイグルマッチングによる高精度年代推定が試みられた．しかし，これらの木柱の暦年代が紀元前500年ころにあたっており，この年代領域，すなわち，紀元前750年から400年の約350年間は暦年代較正曲線IntCalの^{14}C年代の変化が乏しくほぼ平坦な変動を示す時期であることから，^{14}Cウイグルマッチング解析が有効に機能しなかった（中村・木村2004）．その後，中塚ほか(2013)の努力により樹木年輪の安定酸素同位体比（$\delta^{18}O$）の変動パターンが日本産木材の年輪のマッチングに利用できることが明らかとされ，$\delta^{18}O$による年輪年代測定法が大きく前進した．上述の青田遺跡から出土した80本の木柱の年輪年代が確定され，さらに，2グループ間の年代差が60年であることが決定された(木村2012)．

3．^{14}C年代測定法

木柱などの最外年輪に近い部位を採取して^{14}C年代測定を行うことにより大まかな伐採年を知ることができる．年輪年代法は誤差無しで年輪年代を決めることができるが，^{14}C法を適用して±20年程度で^{14}C年代を決めても，さらに暦年代較正を行うと誤差範囲は数十年程度に広がる．さらに，^{14}Cウイグルマッチングをもってしても，誤差範囲を狭く絞ることが難しいことが多い．しかし，^{14}C年代測定は，年輪年代法のように，1）少なくとも50~100層程度の年輪を解析する必要がある，2）標準年輪曲線が整っている年代区間しか年輪年代が求まらない，等の強い制限はなく，ほとんど非破壊的に最外年輪に近い部位から少量の試料を採取することで，おおよその暦年代を推定できる．

4．新潟県羽茂条里遺跡出土木柱の年代解析

羽茂条里遺跡出土木柱15点について，最外年輪に近い部位の^{14}C年代測定結果を図1に示す(中村2013)．この15点については年輪年代解析用の試料も採取された．年輪解析の結果，5本の木柱について相対年代の関係が求まり，さらに既に年輪年代が求まっている佐渡市蔵王遺跡出土スギ材とのマッチングから図2に示すように5本の木柱の年輪年代が求まっている(木村2013)．これは，^{14}C年代測定の結果(図2柱の破線)と良く調和している．一方で，出土木15本のうち，10本については年輪年代法では年代が推定できない．今後の方針としては，^{14}C年代測定の結果から示される年代範囲でδ^{18}O年輪標準曲線の確立を待って，年輪解析を行うことになる．このように，^{14}C年代を有効に活用しつつ高精度のδ^{18}O年輪年代解析を進めることが肝要である．

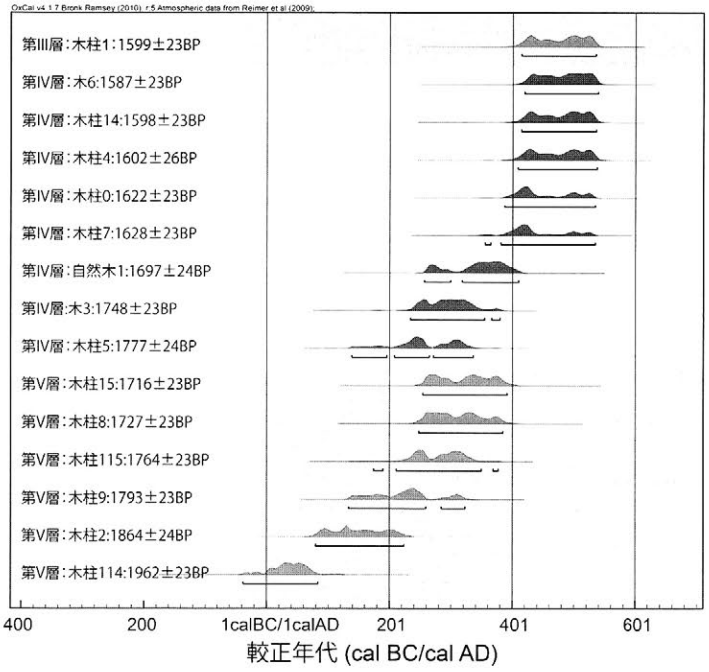


図1　羽茂条里遺跡出土木柱の^{14}C年代の暦年較正結果

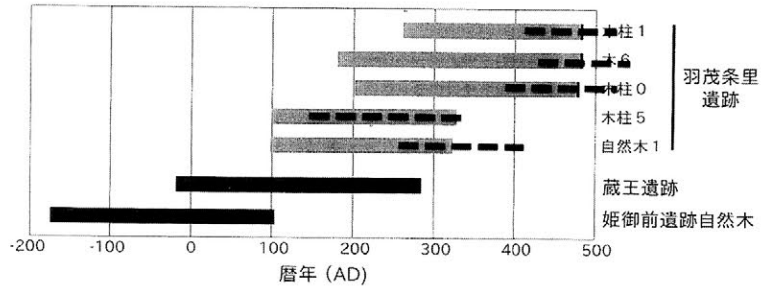


図2　羽茂条里遺跡出土木柱の年輪年代と^{14}C年代の較正暦年代．破線が較正暦年代範囲．

木村勝彦・斉藤智治・中村俊夫(2004)青田遺跡における木柱の年輪年代解析による建物群の年代関係の検討．「青田遺跡」新潟県埋蔵文化財調査報告 第133集．
木村勝彦 (2012) 建材の年輪が語る縄文の森林とその利用．日本植生史学会第27回大会講演要旨集，pp.9-12.
木村勝彦 (2013) 出土木柱の年輪年代．羽茂条里遺跡，佐渡市教育委員会，pp.36-38.
中塚 武，ほか (2012) セルロース酸素同位体比を用いた日本における新しい木材年輪年代法の開発．日本文化財科学会第29回大会要旨
中村俊夫・木村勝彦 (2004) 青田遺跡出土遺物の放射性炭素年代−柱根のAMS ^{14}C年代測定と^{14}Cウイグルマッチングを中心にして−．日本海沿岸東北自動車道関係発掘調査報告書V　青田遺跡，新潟県埋蔵文化財調査報告書，133，177-184.
中村俊夫 (2013) 木材の加速器質量分析による放射性炭素年代．羽茂条里遺跡，佐渡市教育委員会，pp.31-35.

土器残存有機物を用いた縄文時代晩期亀ヶ岡文化圏，内陸性杉沢遺跡の食性復元

Reconstruction of paleodiets in potteries using radiocarbon dating, stable isotope analysis and lipid analysis at Sugisawa site from Final Jomon Periods, Japan

○宮田佳樹(金沢大学)，堀内晶子(国際基督教大学)，上條信彦(弘前大学)

○Yoshiki Miyata (LLRL, Kanazawa University), Akiko Horiuchi (The College of Liberal Arts, International Christian University), Nobuyuki Kamijyo (Hirosaki University)

1. はじめに

縄文時代晩期亀ヶ岡文化圏の杉沢遺跡は，青森県南部地方馬淵川流域の三戸郡三戸町大字貝守字杉沢にある。現在の海岸線からは直線距離で 40km 離れた内陸性遺跡である。本研究では、杉沢遺跡から出土した土器に含まれる有機物を，ガスクロマトグラフ質量分析法(GC-MS)によって脂質分析し、土器付着炭化物の炭素年代測定結果と安定同位体分析とを組み合わせることにより，縄文時代晩期の亀ヶ岡文化圏，内陸性杉沢遺跡に暮らしていた人々の食生活を復元することを目的とした。海洋性魚介類を調理していた可能性の高い陸奥湾沿岸部の不備無遺跡出土土器と植物性食材を調理していた可能性の高い内陸部遺跡である杉沢遺跡出土土器の脂質分析結果と比較検討することにより，植物性食材の寄与を評価したい。

2. 方法

年代測定試料は土器付着炭化物を用いた。土壌起源の有機物や炭酸塩などの汚染を取り除くため AAA 処理を行った試料を石英管に封入し，加熱ガス化，真空ラインで炭素精製し，グラファイトに還元をした後，炭素年代測定を行った。さらに，AAA処理済みの土器付着物の安定同位体，炭素窒素含有量を分析した。

土器の脂質分析はデンタルドリルで表面の二次的な汚染物質を極力排除した土器片 2g を乳鉢で粉末状に粉砕した。この土器粉末に，アルカン C34(内部標準)を添加して，クロロホルム:メタノール溶液(2:1)で溶媒抽出する操作を2度繰り返した。分取した溶媒を遠心分離して，上澄みを窒素雰囲気下で乾固し全脂質を回収し，クロメタ溶液(2:1)でシリカゲルカラムに通し，不純物を濾過除去した。それから，抽出した脂質を TMS 化して，ガスクロマトグラフ(GC)を用いて，脂質組成を確認した。抽出した脂質は水酸化ナトリウムメタノール溶液で加水分解(鹸化)し、中性脂質と酸性脂質を分けて分析する。ヘキサンを加えて中性脂質を抽出した後、溶液を酸性にしてからクロロホルムで酸性脂質を抽出し、メチル化またはトリメチルシリル化した後、ガスクロマトグラフ質量分析(GC-MS)を用いて分析した。

3. 結果と考察

杉沢遺跡より出土した大鉢は，内部に炭化物の付着がみられることが多く，植物の煮炊きや木の実の灰汁抜きに使われたと考えられている。内部に炭化物が付着した深鉢を分析した結果，主な脂質は，C14:0 から C24:0 までの極長鎖脂肪酸(VLCFA)で，動物性脂質に多く含まれる Cholesterol の他に，植物性の Campesterol と Sitosterol が検出された。その量は，Cholesterol＞＞Campesterol＝Sitosterol であった(図1)。貝などには Cholesterol と植物 sterol が含まれていることが知られているが，内陸部遺跡である杉沢遺跡で，貝を集中的に調理したと考えるよりは，むしろ動物性と植物性食材の両方を同時あるいは，別々に調理したと考える方が妥当であろう。

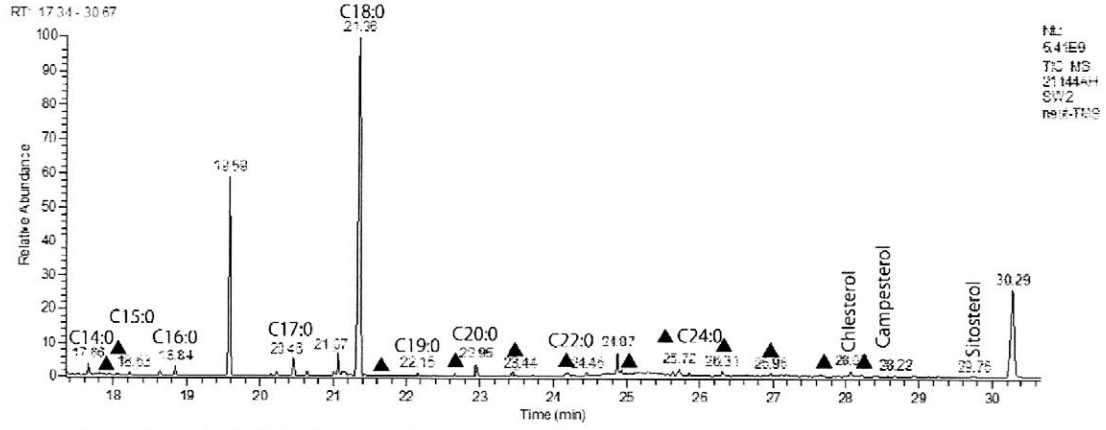


図1　杉沢遺跡出土土器から抽出した中性脂質成分の部分クロマトグラム
Cx:0 は炭素数 x の直鎖状飽和脂肪酸▲はアルカン類

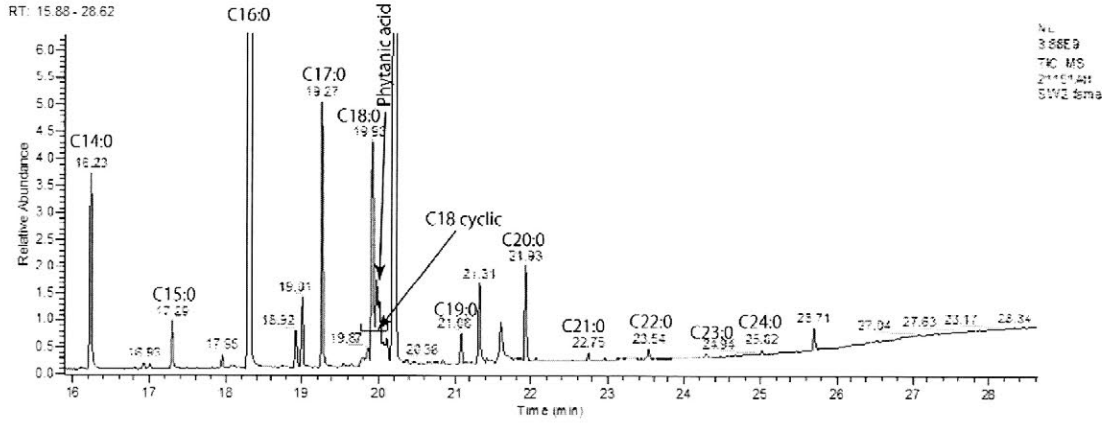


図2　杉沢遺跡出土土器から抽出した酸性脂質成分の部分クロマトグラム
Cx:0 は炭素数 x の直鎖状飽和脂肪酸，C18 cyclic は，炭素数 x の環状化合物群
（APAA: Alkylphenil alkanoic acids）を意味する。

APAA（Alkylphenyl alkanoic acids: ニ重結合数が3以上の不飽和脂肪酸が 270℃以上に加熱されると生成する芳香環を含む脂肪酸であり，とくに海洋生物を調理した際のバイオマーカー）は，C18 しか検出できず，魚などを調理した際に見られる C20, C22 の APAA は確認できなかった（図2）。さらに，偶数よりも奇数のアルカン類が多く検出されており，植物起源を示唆している（図1）。VLCFA は木の実にも多く含まれているので，ここで検出された APAA は植物や何らかの陸獣由来と考えられる。これらの結果を総合すると，動物の調理の他に，木の実の調理・灰汁抜きに使われた可能性を示唆するものである。

本発表では，この土器付着炭化物の炭素年代，安定同位体組成，さらに，海洋性魚介類を調理していた可能性の高い陸奥湾沿岸部の不備無遺跡出土土器の脂質分析結果と比較検討して，縄文時代晩期の亀ヶ岡文化圏，内陸性杉沢遺跡に暮らしていた人々の食生活を検討する。

堆積物の有機残存物と炭化物の基礎的研究

Fundamental studies of Carbonized plant remains and Organic remains contained in sediment

○金原正明（奈良教育大学）、田崎博之（愛媛大学）、岡田憲一（橿原考古学研究所）
柳原麻子（立命館大学）、中村慎一（金沢大学）、金原美奈子（古環境研究所）
金原裕美子（同）、高田秀樹（能登町教育委員会）、西田巖（佐賀市教育委員会）

Masaaki Kanehara, Hiroyuki Tazaki, Ken-ichi Okada, Asako Yanagihara, Shin-ichi Nakamura, Minako Kanehara, Yumiko Kanehara, Hideki Takada, Iwao Nishida

遺跡の堆積物は、人の生活面や農耕地の累積であり埋没土にあたり、土壌生成作用と人為作用を受け累積した生成物である。母材となる堆積物の生成特性も有するが、土壌化の度合いで分解を受け有機質の残存は悪く、分解しにくい炭化物やその破片が残存している。時間面の埋没として遺構内から検出される種実やまれに炭化した根茎類などは解釈がしやすいことから、特化した検討がなされている。また、畠や水田などの埋没土の堆積様相や組織の観察もなされるが記録の解釈の困難さや差異の生じるところである。堆積物の無機粒子としての基本構成である粒度分布の検討はあまりなされず遅延している。堆積環境、植生、生業、農耕を知る方法として、花粉、種実、木材、有機物ではないが植物珪酸体や珪藻、微粒炭（炭化した植物遺体片、特に炭片）などがそれぞれ特化した分析として成り立っている。また、化学分析ではより特化した分析となり、パターン区分の変化を追うところとなる。ここでは、堆積物中に形状ある遺体として最も残存しやすい有機残存物と炭化物を代表とし遺体分析と堆積物の組織解析や組成分析から、遺跡の埋没土から取り出せる情報を総合的に抽出し、堆積環境や植生から生業や農耕の様相至る復原を具体的に事例研究の整理検討も含め展開させていく。

基本作業として、炭化物の由来物の現生標本のデータ集積を行い、現在も集成を続けている。堆積物中に最もよく残存する炭化木片および分解質木片は、木材の同定が一般化していて従来の現生標本から対応が可能であり、木本の他の組織、草本の組織を集成しつつある。人が利用する種実類や根茎類は現有標本から、組織標本を作製し細胞配列のパターンの整理を行っている。その中で、酸化しやすく残存しにくいデンプン粒が細胞内での配列パターンを含めると由来物の同定が行えることが明らかになってきた。なお、動植物の個体や部位やその破片の残存物は、fossil ないし remains の同定分類であり、type も含めたタクサであらわすべきであり、近年多い現生動植物の分類になぞらえる同定結果、その場合あらわされる科、属、節、種表記する記載には基礎的な部分で違和感を感じる。

これらの基礎作業を進めつつ、各遺跡の総合分析を進め、また抽出されているデータの整理検討を行いつつある。特に種実や根茎類の細胞およびデンプン粒の配列パターンでは、たとえば、アズキ種子では大型の細胞内に大型の楕円形のデンプン粒が密に配列され、リョクトウやササゲ種子では楕円形の小型のデンプン粒が密に配列する。イネ果実およびアワ、ヒエ、キビの雑穀果実は、細胞形が長方形であったり、中のデンプン粒の配列がはめ絵状で特徴的であり、ドングリ類では多角形の細胞内に小型のデンプン粒が密に配列する。これらは現状では、アズキ type、リョクトウ type、はめ絵状 type 等とし、分類表記を検討している。また、コメ（イネ果実）においても、βデンプンからαデンプンを経ても形状が変わらず保存され炭化物化し、土器付着炭化物の同定も一部行える。炭化物の同定検討にはＳＥＭが使われることが多いが、破壊法となる場合がほとんどで、金属顕微鏡等で行うのが適する。

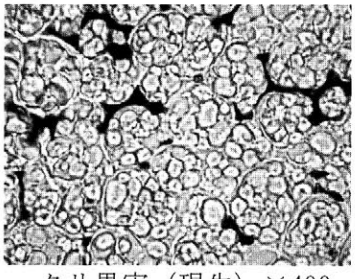
堆積物においては、大型の有機遺体と炭化物、顕微鏡化における微小の有機遺体や炭化物の分析となり、組織の記載と無機成分の粒度分布を含めて行う。埋没土では炭化物と分解質木片以外の花粉や種実、草本遺体片が消失している場合も多い。炭化物で特に炭化木片と暗色化し

た分解質木片があり、現状で分析されている微粒炭（charcoal：木炭）分析は特化しており、炭化木片と分解質木片を他の遺体と同じ系列要素として分析していく必用がある。

伊吹町杉沢遺跡、御所市秋津遺跡・中西遺跡、能登町真脇遺跡、松山市文京遺跡、浙江省河姆渡文化期出土資料、奈教システム分析学研究室保存資料で検討している。これらの中で杉沢遺跡では、クリ果実、クヌギ節果実、トチノキ果実の破片の細胞・デンプン配列パターンでの分類同定が行えている。韓国朝鮮時代の容器の中の分解質有機物（一見炭化物）からは、イネや雑穀の頴と分解質（劣化）デンプン粒が検出され、デンプン粒は大型（アズキ type）のみで他のデンプン粒は残存しない。デンプン粒も大きさによるのか分解性が異なる。能登町真脇遺跡では住居跡内の堆積物、浙江省河姆渡文化期では堆積物と土器付着炭化物の検討している。

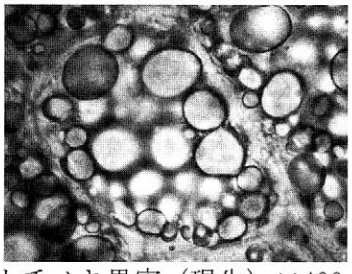
堆積物の総合分析では、秋津遺跡例では埋没土と水成堆積で粒度分布のパターン相違が明らかで、草本片、種実、花粉、木片の順に保存性が高くなる。土壌生成作用の度合いによって強ければ分解質木片のみになり、保存も関連して分解質木片も分解している。残存していれば、種実は相対的に現地性が高く、花粉では虫媒花植物の現地性が高く、風媒花植物では優占するものが近接する。秋津遺跡の最下層（弥生前期）の水田は、クリなどの疎林の森林土壌を母材として水田土壌が形成され、乾田状水田が営まれる。洪水の砂礫が堆積した後は、極細粒砂からシルトを主とするやや淘汰された堆積物で水田作土が生成され、人工的に現代の「流水客土」様手法で水田の復興を行ったとみられる。

以上新たな手法も加えて総合的に分析を行うことによって、堆積物の生成環境、植生、生業、農耕のより具体的な実像に迫ることができ、今後さらに検討の余地があると考えられる。

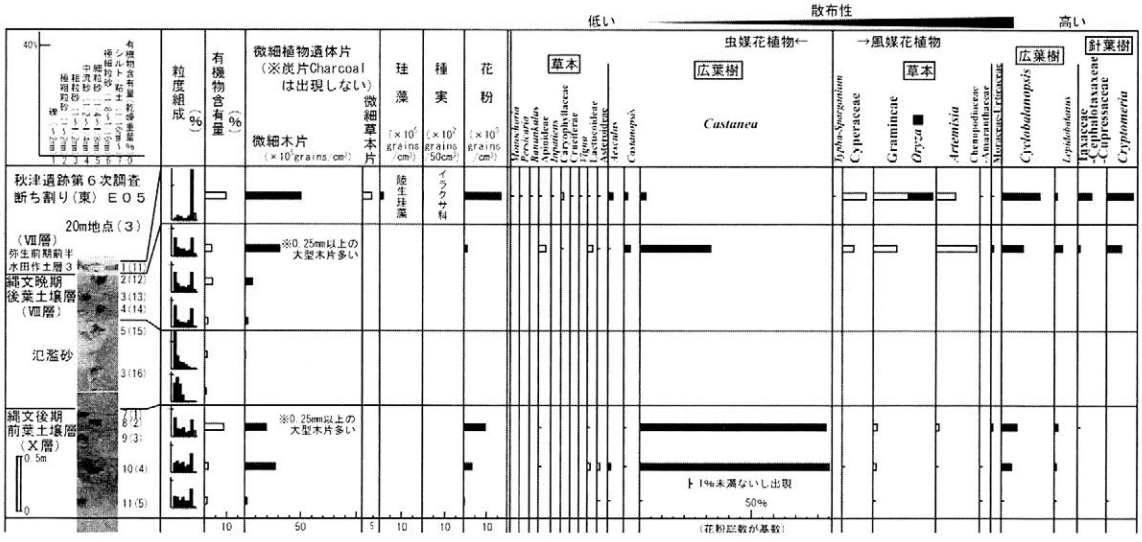


クリ果実（現生）×400

クヌギ果実（現生）×400



トチノキ果実（現生）×400



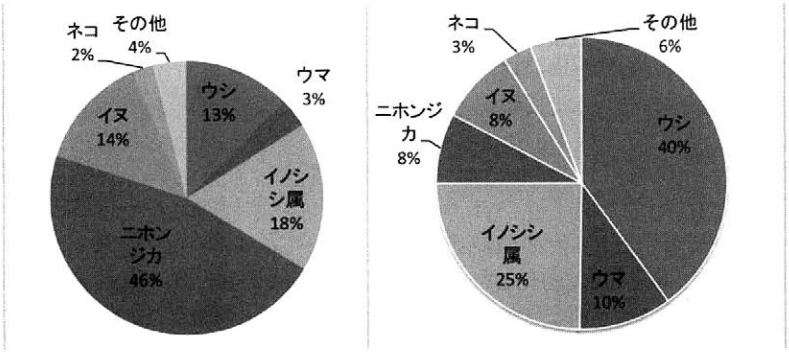
秋津遺跡における分析例（2013 報告から上部のみ抜粋）

中世大友府内町跡—大友宗麟の城下町—出土の動物遺存体の研究
The utilization of animal resources recovered from the Medieval town of Otomo-Funai, Oita City

○松井章（奈良文化財研究所）・丸山真史（京都市埋蔵文化財研究所）

概要

大分市所在の豊後府内遺跡は、著名な戦国大名の大友宗麟が建設した城下町で、その居館である大友館や、菩提寺である万寿寺を中心とする。都市再開発により大分市街の地下に、中世の遺構が良好に保存されていることがわかり、国史跡として史跡整備が進みつつある。本発表の動物遺存体は、その中心地にある万寿寺の北の堀と、称名寺跡地の大規模建物群の西の堀から出土したもので、その年代は陶磁器や古文書から、いずれも 1570 年から 1582 年までの 12 年間に限られる。出土した動物遺存体は、貝類 33,233 点、魚類 175 点、両生爬虫類 69 点、鳥類 302 点、哺乳類 3,042 点、総数 36,821 点を数える。万寿寺と称名寺跡地の堀から出土した動物遺存体の組成は、破片数で見るとその組成が異なり、万寿寺ではシカが最多で、称名寺跡地ではウシが最多を占める。



左：出土した哺乳類：左が万寿寺堀跡、右が称名寺跡地の堀跡

ブタの存在

特に注目すべき特徴は、ニホンイノシシとは容貌が全く異なる小形のブタが、複数個体出土していることである。その特徴は以下のようである。（1）下顎体の歯槽の第３大臼歯（M3）後端で下顎枝が急角度で立ち上がる。（2）歯周病を患って臼歯列が著しく歪む。（3）第１大臼歯（M1）の舌側は著しく咬耗する。（4）第３大臼歯（M3）は咬頭前方のみ咬耗が進行する。（5）第２小臼歯（P2）から第２大臼歯の～ M2 の頬側には、歯石と思われる白色物が付着する。（6）ニホンイノシシよりも小形である。

蛮国豚（長崎古今集覧名所図絵）

江戸後期の『長崎古今集覧名勝図絵』には、「蛮国豚」が描かれ、その注釈には、蘭語ハルグといい、首より脊に怒毛があり、蘭人は衣服の毛掃いに用い、「和国豚」より容太く、面長く、牙有りて、荒く長なり、とある。戦国時代でも南蛮船によって、こうしたブタが連れてこられていたのであろう。このような特徴を持

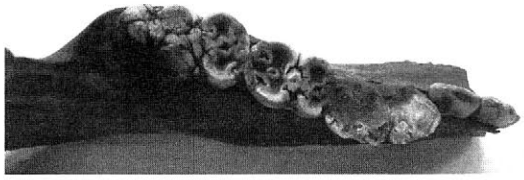
つブタは、品種改良の進んだ中国系とは思えず、管見によると現代のラオス、ベトナムの少数民族が飼育する小形の在来ブタの特徴と一致する。南蛮船が食料として生きたウシ、ブタ、ニワトリを船に積んでいたことはよく知られており、これらのブタも東南アジアからポルトガルの南蛮船によって連れてこられたものであろう。

その他の動物遺存体

万寿寺の堀からは、ニホンジカが最も多く、イヌ、ブタ、ウシが続くが、称名寺跡地の堀では、ウシが最も多く、イノシシ、ウマ、ニホンジカとなる。特に称名寺跡地の堀からは、ウシやウマ、イヌが多い。特にイヌは頭蓋骨が割られて首を切られ、ウシは四肢を切り離されて交連した状態で出土した。同じ溝から散乱状態で出土したネコにも解体痕が見られ、さまざまな哺乳類が食用にされていたことは明らかである。一般に貝塚を伴わない湿地遺跡では、緻密質が厚くて頑丈な哺乳類の骨に比べて、魚類や両生、爬虫類の骨の出土は多くない。出土した魚類は、マダイ、サメ類など近海物と、マグロ、シイラなど遠海ものの両方が出土しているが、アジ、サバ、カレイなど小形の魚は見られない。おそらく骨の脆弱性だけでなく、町の清掃役を果たしていたブタとイヌの餌になって遺跡には残らなかったものと思われる。

まとめ

これまでも南蛮貿易やキリシタン関連の遺物の出土で注目されてきたが、今回の動物遺存体の報告により、府内町の人々の食生活・動物利用に、新しい研究の視座をもうけることができた。出土した動物遺存体は堀の底で湿地環境が守られたために保存されたもので、今後、こうした都市遺跡の発掘で、同様の多様な分析・研究を実施したい。本研究はJSPS科研費22240083の助成を受けた成果の一部で、このような研究を可能にしていただいた大分県埋蔵文化財センターに感謝する。



大友府内町跡出土のブタの下顎骨（右上）、頭蓋骨（左下）、下顎骨（右下）

中世大友府内町跡（大友宗麟の城下町）出土の貝類
Shells recovered from the medieval town of Otomo-Funai

池田研

大友氏は鎌倉時代から織豊時代にかけて豊後国(現大分県)を本拠として権勢を誇った一族で、16世紀後半の第21代当主宗麟はキリシタン大名として広くその名を知られている。現在の大分市顕徳町に置かれた大友氏の館は「大友氏館跡」、その周囲に広がる町屋一帯は「中世大友府内町跡」と称され、多数の発掘調査が行われてきたが、出土した貝類の報告例は少なく、今回の資料は当地域における水産物の流通・消費や食文化を研究していく上での基礎資料となりうるものである。ここで報告する貝類資料は、大友氏館跡のすぐ北東に位置する時宗寺院称名寺の跡地に建造された、大規模施設の堀から出土したもので、共伴する陶磁器や古文書の記録により1570～1582年の間に投棄されたと考えられる［池田ほか2013］。

1）資料の概要

合計33,230個体に及ぶ貝類は、調査により遺構番号が異なるが、前述した一連の堀から出土したものである。鹹水性種であるキサゴ・キサゴ類の合計が93.6%と圧倒的多数を占めており、そうした傾向は個体数の少ない第11次調査を除く全ての調査地点で共通している。ハマグリやサザエ（無棘型）など凡列島的に食材として流通していた貝種も含まれるが、スガイ・イチョウシラトリ・イシダタミ・コシダカガンガラ・クボガイ・スガイ・ウミニナ・ホソウミニナ・イボウミニナ・フトヘナタリなど食用となりえても、流通範囲が限定されていた可能性の高いものが含まれる。また、イシマキガイ・キクスズメ・カゴメガイ・ムシロガイ・アラムシロ・カニモリガイ・マツヤマワスレなどは混獲された非食用種と考えられる。

2）当遺跡における既往の調査や近隣遺跡の調査の出土資料

・当遺跡34次調査：16世紀後半の万寿寺の堀SD066からキサゴ類とみられるニシキウズガイ科35個体、ミミガイ科1個体、アカニシ1個体が出土。
→キサゴの優越は一定の地域的拡がりをもった傾向か（キサゴ類はヤサラガイと呼ばれ、現在でも伝統的な地元産食材として珍重されている）
・下郡桑苗遺跡：弥生時代を中心とする包含層から、ヤマトシジミを筆頭にサルボウ・ハマグリ・バカガイ・キサゴ類など26種、11,764個体の貝類が出土している。
→今回の資料と共通する貝種が多く、周辺の近海や河口部で捕獲可能であった可能性が高い

3）比較モデルと今回の資料の位置付け

大坂城下町跡と周辺遺跡をモデルとした研究では、貝類の組成は人口規模や商品経済の発達度、食糧の外部依存度など、都市としての発展段階と相関性を有すると考えられている。具体的には、大坂城下町跡では近隣の沿岸部や河口部で採取可能な限定された中世の貝種構成が、城下町建設以降は美味かつ安価で大量に供給されるハマグリを主体としつつ、アワビのような商品価値が高い貝種や、有棘型サザエ、チョウセンハマグリのような遠隔地産の貝種など、多様な貝種が含まれる「近世都市型」構成に変化する。一方、臨海部村落の食野家邸宅跡では周辺地域で稀少なアサリが過半を占め、コシダカガンガラ・スガイなど、都市部では流通していない地元産のいわゆる「磯物」や混獲された非食用種が含まれており、地域内で完結する自給的物流形態が支配的である。両遺跡の中間的な様相を呈する堺環濠都市遺跡は、大坂への水産物の供給拠点でもあったが、主要種の一角を占める地場産シオフキの大坂での出土量は僅少である。このように、市場規模と購買力の大きい大都市では、整備された物流網を通じて広範囲の漁場から水産物が流入した結果、住民の嗜好や各階層の人口比を反映した貝種構成が成立し、また商品価値が著しく低い貝種は、周辺海域における資源量が豊富でも流通過程で淘汰されて

いる。一方、都市周辺の臨海部村落では地域内で完結する自給的かつ単純な物流形態が維持された結果、出土した資料は近隣の漁場で水揚げされた水産物の構成をそのまま反映している。

そうしたモデルから本資料を見ると、商品価値の高い貝種を含む多種から構成されてはいるが、いずれも近海で採取可能なもので、確実に遠隔地産である貝種は含まれない。流通過程で淘汰されやすい低価値の貝種や、混獲された非食用種が一定量含まれる点を考慮すると、遺跡近郊の漁場から複雑な流通経路を経ずに搬入、消費されたものである可能性が高い。16 世紀後半の大友氏城下町は、都市として水産物の供給を広範囲に依存するような発展段階には達しておらず、地域内で完結する物流機能が大きな役割を果たしていたと想定される。

池田研 2013「中世大友府内町跡から出土した貝類について」『豊後府内 17　第 2 分冊』、pp. 392-394

中世大友府内町跡出土の貝類一覧表

調査次数（遺構名）	11次（S44）	72次（S025）	80次（S101）	88次（S120）
ｵｵﾀﾆｼ		1	4	1
ﾏﾙﾀﾆｼ			4	
ﾒｶｲｱﾜﾋﾞ			1	1
ｸﾛｱﾜﾋﾞ	3		2	
ｱﾜﾋﾞ類		1	9	3
ｲｼﾀﾞﾀﾐ		14	24	2
ｺｼﾀﾞｶｶﾞﾗ		2	13	
ｸﾎﾞｶﾞｲ		20	39	2
ｷｻｺﾞ		1,896	25,792	779
ｷｻｺﾞ類		238	2,150	234
ﾆｼｷｳｽﾞｶﾞｲ科		1		
ｻｻﾞｴ	4	13	178	23
ｽｶﾞｲ		23	84	2
ｲｼﾏｷｶﾞｲ			1	
ｳﾐﾆﾅ		1	25	1
ﾎｿｳﾐﾆﾅ			25	
ｲﾎﾞｳﾐﾆﾅ		5		
ﾌﾄﾍﾅﾀﾘ			36	1
ｳﾐﾆﾅ科		13	29	
ｶﾆﾓﾘｶﾞｲ			3	
ｷｸｽｽﾞﾒ			1	
ﾂﾒﾀｶﾞｲ	1	6	123	16
ｲﾎﾞﾆｼ			2	1
ｱｶﾆｼ	6	7	18	8
ｶｺﾞﾒｶﾞｲ			4	
ﾊﾞｲ			12	2
ﾅｶﾞﾆｼ			1	
ﾃﾝｸﾞﾆｼ	1	1	2	
ﾑｼﾛｶﾞｲ		3	38	
ｱﾗﾑｼﾛ			1	

調査次数（遺構名）	11次（S44）	72次（S025）	80次（S101）	88次（S120）
ｻﾙﾎﾞｳ			2	
ﾌﾈｶﾞｲ科				●
ｲｶﾞｲ				2
ｲﾀﾔｶﾞｲ			1	
ｲﾀﾎﾞｶﾞｷ			5	
ﾏｶﾞｷ			12	
ｲﾀﾎﾞｶﾞｷ科			1	
ﾊﾏｸﾞﾘ		30	961	69
ﾏﾂﾔﾏﾜｽﾚ			1	
ｵｷｼｼﾞﾐ		●	7	1
ｶｶﾞﾐｶﾞｲ			2	16
ｱｻﾘ			63	5
ﾊﾞｶｶﾞｲ		2	27	
ｼｵﾌｷ			10	1
ｲﾁｮｳｼﾗﾄﾘ			1	
ﾏﾃﾞｶﾞｲ		●	●	
ﾔﾏﾄｼｼﾞﾐ		43	11	

表註

・●は殻頂・殻口が出土しておらず個体数は不明であるが、破片から存在が確認されたもの

中世大友府内町跡—大友宗麟の城下町—
出土動物遺存体の同位体化学分析
Stable isotope analysis of zooarchaeological remains from the medieval town of Otomo-Funai

○覚張隆史（北里大学医学部・日本学術振興会）・米田穣（東京大学総合研究博物館）

【背景】

中世大友城下町跡は土器や陶器などの考古遺物のほかに、当時の人々が利用した動物遺存体が数多く検出されている。これらの動物遺存体の中でも、大型哺乳類であるイノシシ属が数多く検出されており、当時の人々がこれらを主に食料資源として利用していたことがわかる。これらのイノシシ属は野生イノシシか遺跡周辺域で飼育していたブタである可能性があるものの、それらを識別する手法は形態学的な情報に基づいてのみ議論されてきた。そこで本研究は、安定同位体分析に基づいて遺跡出土イノシシ属の食性を評価し、遺跡出土イノシシ属をイノシシとブタで九州の中世城下町におけるイノシシ属の利用形態の復元を試みた。

【試料および方法】

安定同位体分析に供した資料は、イノシシ属（*Sus sp.*）10点およびニホンジカ（*Cervus nippon*）4点の計14点であった。また、本分析試料のうちイノシシ属は、形態的な特徴に基づいて、ブタと識別された個体とそれ以外の個体に細分されている。14点は炭素・窒素安定同位体分析に供し、その内の5点は酸素同位体分析に供した。

（炭素・窒素安定同位体測定）

分析試料は、工作用ドリルを用いて遺跡出土骨から0.5g採取した。採取した試料は米田（2002）に基づいてコラーゲン抽出を実施した。抽出された骨コラーゲンは東京大学総合研究博物館の元素分析計—安定同位体比質量分析計（EA-IRMS）を用いて$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$および炭素・窒素比（C/N）を測定した。本分析における安定同位体比の測定精度は、炭素同位体比は標準偏差±0.1‰、窒素同位体比は標準偏差±0.1‰であった。

（酸素安定同位体測定）

分析に供した試料は、骨コラーゲン抽出した同一個体の歯エナメル質から工作用ドリルでそれぞれ10mg採取した。酸素同位体比測定のためのリン酸銀は、採取したエナメル質の粉末を用いて、Vennemann *et al.* (2002)に基づいて精製した。精製された歯エナメル質リン酸銀の酸素同位体比は国立科学博物館地学研究部の熱分解型—安定同位体比質量分析計（TCEA-IRMS）を用いて測定した。酸素同位体比の表記は炭素・窒素安定同位体比と同様に‰で表記し、標準物質はV-SMOW（世界の海水の平均酸素同位体比）で規格化した。酸素同位体比測定に用いたスタンダードはNBS120c（燐灰石）を用い、測定精度は21.7±0.3‰であった。

【結果】

イノシシと同定された個体の炭素同位体比は-19.7‰±0.5、窒素同位体比は 5.1‰±1.5、ブタと同定された個体の炭素同位体比は-18.7‰±0.6、窒素同位体比は8.0‰±2.4 を示した（図 1）。一方、野生動物と仮定することが妥当な生物種であるシカの炭素同位体比は-21.5‰±0.8、窒素同位体比は 3.3‰±0.9 を示した（図 1 参照）。イノシシとブタの各同位体比の分散と平均値を比較したところ、両同位体比の分散に有意な差は無いものの、平均値は有意に異なる値を示した（U-test；炭素同位体比 P <0.05、窒素同位体比 P <0.05）。また、イノシシとシカの各同位体比に同様の比較を試みた結果、両同位体比の分散に有意な差は無いものの、平均値は有意に異なる値を示した（U-test；炭素同位体比 P <0.01、窒素同位体比 P<0.05）。

また、イノシシ属の酸素同位体比は 14.8±1.7‰を示した。イノシシ属の炭素・窒素同位体比と酸素同位体比の相関関係を評価するために、回帰分析を実施した結果、酸素同位体比は炭素同位体比のみと正の相関関係を示した（図 2）。

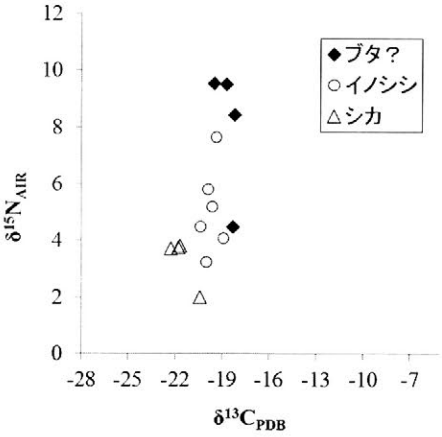


図 1. 遺跡出土骨の炭素・窒素同位体比

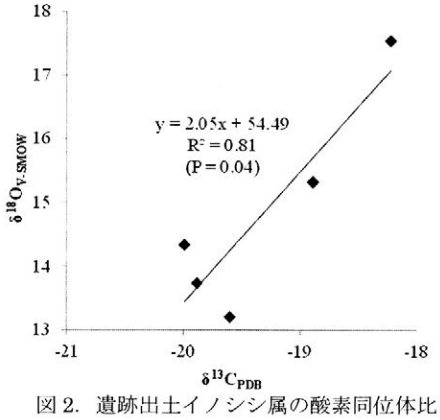


図 2. 遺跡出土イノシシ属の酸素同位体比

【考察】

形態的にブタと同定された個体がイノシシと同定された個体よりも高い窒素同位体比を示した結果は、ブタの食性がイノシシとは大きく異なり、炭素・窒素同位体比がともに高い食物源に依存していた可能性を示唆する。家畜として飼養されたブタであれば、ヒトが利用した栽培植物の給餌や、外部からの移入個体である可能性があるため、同位体比の変動が生じたと考えられる。イノシシ属の中で酸素同位体比と炭素同位体比を比較した結果、ブタと同定された個体はイノシシと同定された個体よりも高い同位体比を示したことから、ブタは酸素同位体比の高い地域で飼育されていたか、餌の酸素同位体比が高くなる傾向にあった 2 つの可能性が挙げられる。温暖な地域では酸素同位体比が高くなる傾向にあるため、ブタがイノシシよりも比較的暖かい地域にいた可能性が考えられる。一方、餌となった食物の酸素同位体比が高くなる例として、穀物などを乾燥させることで生じるストレージ効果（保存効果）が挙げられる。

大友宗麟は南蛮貿易で外国産のブタを持ち込んでいる可能性もあるため、今後、ストロンチウム同位体分析を用いてこれらのブタの持込みの可能性をさらに検証していくことが重要である。

【謝辞】

本研究は酸素同位体分析では国立科学博物館の齋藤めぐみ氏に、イノシシ属の形態的な評価では京都市文化財研究所の丸山真史氏に助言を賜った。また、本研究は JSPS の助成で実施された。

動物考古学からみた中近世日本におけるニワトリの利用
－中世大友府内町跡資料を中心に－

The domestic chicken exploitation in Medieval and Early Modern Japan, based on zooarchaeological analysis of chicken remains from the medieval town of Otomo-Funai

○江田真毅（北海道大学総合博物館）

仏教思想の影響から公然と哺乳類を食べられなかった中近世の日本において、鳥類は貴重なタンパク源であった。『料理物語』や『当流節用料理大全』、『古今料理集』など、当時の料理書にはニワトリのほかさまざまな野鳥の調理法や旬、味の優劣などが記されている。これを反映して、大名や旗本、下級武士の屋敷跡、さらには商家や町屋の跡の遺跡などからも多様かつ多数の鳥類遺体が検出されている。とくにニワトリは中近世のさまざまな身分階層の人々が形成した遺跡から出土しており、各所で利用されていたことが知られている。しかし、その管理や利用の方法などについてはあまり比較検討されてこなかった。

中世大友府内町跡は大分県大分市に所在する。戦国大名・大友宗麟の城下町としても著名な遺跡で、大友氏の居館やその菩提寺である万寿寺を中心とする。これまでの発掘調査で、大量の陶磁器とともに動物骨も多数検出されている。とくに、2 つの大規模な堀からは大量の動物骨が検出された。伴出した陶磁器や古文書の記録から、これらの資料は1570年前後から島津藩による侵攻を受けた 1586 年までの 10 数年間に投棄されたと推定されている。本発表では、この中世大友府内町跡から出土したニワトリ資料を中心に、これまでに報告された他の遺跡との比較から、中世・近世におけるニワトリの管理法や利用法について動物考古学的アプローチから検討する。

中世大友府内町跡の2つの大規模な堀から出土した鳥類骨のうち、311点が目以下の単位で同定された。うち 90%以上はニワトリを含むキジ科であった。他の分類群としてはカモ亜科、サギ科、ツル科、タカ科、カラス科が確認されたが、その量はわずかずつであった。江田・井上（2011；動物考古学 28: 23-33）の基準で大腿骨、脛足根骨、足根中足骨についてキジ科各種の出現率を検討した。その結果、検討可能な大腿骨はすべてニワトリもしくはヤマドリに分類され、キジと同定できるものはなかった。一方、脛足根骨と足根中足骨では各1点がキジもしくはヤマドリのものとみなされ、それ以外の検討可能な資料はすべてニワトリのものと同定された。これらのことから、キジ科のほとんどはニワトリのものと考えられた。現生骨標本のキジやヤマドリより大きな資料がほとんどであることからも、この同定は支持されていると考えられた。

カットマークや切断痕は、観察した 287 点中 111 点に認められた。四肢骨では主に肩関節や肘関節、股関節、膝関節、足根関節の周辺に見られ、これらの関節の解体に関わると考えられた。関節付近で、体幹部と上下肢、さらに上肢は 2 つに、下肢は 3 つに切断したのであろう。また、関節とは関わりなく、寛骨を前後に離断している例も 7 例認められ、調理上あるいは

流通上、必要な切断と考えられた。胸骨の胸骨吻や竜骨突起周辺、さらには胸骨の背側面にもカットマークが認められた。これらの傷痕は、解体より除肉の痕跡であったろう。

距突起（蹴爪の基部となる骨体背側面の突起で一般に雄でのみ形成される）の有無でニワトリの雌雄を分けると、オスの可能性が高い距突起のある資料の全長の平均値は 89.9 mm、メスの可能性が高い距突起のない資料の平均値は 81.3 mm であった。距突起の有無に分けて足根中足骨の全長をプロットすると、その内部に明瞭なクラスターは形成されなかった。一方で、計測値の分散は大きく、さまざまな大きさのニワトリが利用されていたことが伺えた。これは、さまざまな品種・系統のニワトリを人為的、あるいは自然に交配させていた結果の可能性がある。

中世大友府内町跡出土の足根中足骨の全長を、年代的に近い汐留遺跡（東京都港区・17 世紀代遺構出土分；西本・江田 1999、『汐留遺跡 I』pp153-176）や大坂城下町跡（大阪府大阪市中央区・17 世紀中頃；丸山ら 2010、大阪歴史博物館研究紀要 8: 35-48）と比較した。すると、汐留遺跡や大坂城下町跡に比べ、中世大友府内町跡出土資料のサイズの変異は顕著に小さい傾向が認められた。とくに、汐留遺跡でシャモと同定されているような大型個体が存在しないことが読み取れる。これらのことから、17 世紀の江戸や大阪に比べると、中世大友府内町跡では、利用されたニワトリのサイズや品種のバリエーションは少ないことが示唆された。

骨化が不完全な幼鳥や若鳥の骨は、脛足根骨では 70 点中 7 点（10%）、大腿骨では 32 点中 4 点（約 13%）であった。骨髄骨（産卵前後の約 1 か月間のみ鳥類の雌個体の骨中に形成される二次的な骨）の出現率は髄腔の観察できた脛足根骨では 58 点中 3 点（約 5%）、大腿骨では 22 点中 0 点であった。また、足根中足骨の距突起の有無から推定した雌雄比は雄が多かった（雄：雌＝23：16）。幼鳥や若鳥の骨が 10%程度認められることから、若い鳥も利用されていたことは明らかである。しかし、検出された成鳥の性比に大きな差は認められないことから、雄は若鳥のうちに消費し、雌は産卵のために残しておくようなニワトリの管理はおこなわれていなかったものと考えられる。また、骨髄骨を含む骨の割合は約 5%以下と少なかったことから、産卵期を終えた雌鳥をすぐに消費するような管理はなかったものと考えられる。

前述の汐留遺跡や大坂城下町跡でも骨化が不完全な幼鳥や若鳥の骨が少数出土している。また両遺跡では、足根中足骨からみた雌雄比が顕著に雄に偏る傾向が読み取れた。これらのことから、江戸時代初頭の江戸や大阪でも若い鳥が利用されていたものの、雄を選択的に屠殺するような管理はなされていなかったと考えられる。一方、17 世紀～19 世紀の和蘭商館跡（長崎県長崎市）では、出土したニワトリの大腿骨の約 16%が若鳥で、成鳥の大腿骨の約 40%に骨髄骨が含まれており、さらに足根中足骨から推定した性比は約 9:1 で雌が多かった（江田 2008、『出島和蘭商館跡』pp122-134）。和蘭商館跡の出土傾向は、若鳥では雄を中心に屠殺し、雌個体については産卵期を終えた雌鳥をすぐに消費していた場合に生じると考えられるものである。

中近世日本におけるニワトリの利用法や管理法の解明のためには、今後、解体痕の位置や骨髄骨を含む骨や未骨化の骨の定量的な報告の蓄積が必要と考えられる。

北海道伊達市カムイタプコプ下遺跡から復元された アイヌ文化期の古環境Ⅱ-調査速報-

Paleoenvironment in Ainu Era Ⅱ- Preliminary survey report at the Kamuitapukopushita site in Date City, Hokkaido-

○添田雄二（北海道開拓記念館）、菅野修広（登別市教育委員会）、青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）、永谷幸人（同）、河畑敦史（同）、伊達元成（同）、三谷智広（洞爺湖町教育委員会）、中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）、松田宏介（室蘭市教育委員会）、上中央子（奈良文化財研究所）、宮地　鼓（苫小牧市美術博物館）、渡邊　剛（北海道大学大学院理学研究院）、渋谷綾子（国立歴史民俗博物館）

○Yuji Soeda(Historical Museum of Hokkaido), Nobuhiro Kanno(Noboribetsu City Board of Education), Tomoya Aono, Yukihito Nagaya, Atsushi Kawahata, Motoshige Date (Date City Institute of Funkawan Culture), Tomohiro Mitani(Toyako Town Board of Education), Kentarou Nakamura (Paleo labo Co.,Ltd), Kousuke Matsuda (Muroran City Board of Education), Hisako Uenaka (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Tsuzumi Miyaji (Tomakomai City Museum), Tsuyoshi Watanabe (Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University), Ayako Shibutani(National Museum of Japanese History)

15世紀から20世紀初頭までは、小氷期と呼ばれる世界的な寒冷期で、過去1万2000年間を通じて最大の寒冷期であったことが知られている。我々は寒冷のピークである17世紀に限定することができる遺物を含む伊達市有珠地区のカムイタプコプ下遺跡の発掘調査を実施し、合わせて周辺の地質調査や自然科学的手法によって自然災害も含めた古環境解析を行った。本遺跡の発掘調査は平成23年度から３カ年計画で行われ（JSPS科研費 23720391）、平成25年度の発掘調査および各分析では、以下のことが明らかとなった。

（1）1640 年駒ヶ岳噴火津波は、津波堆積物の分布を調査した結果、海岸から少なくとも 250m 内陸まで侵入していたことが明らかとなった。カムイタプコプ下遺跡はもちろん、ポンマ遺跡や有珠４遺跡もこの分布範囲に含まれ、当時多大な被害を受けていたことが推定された。

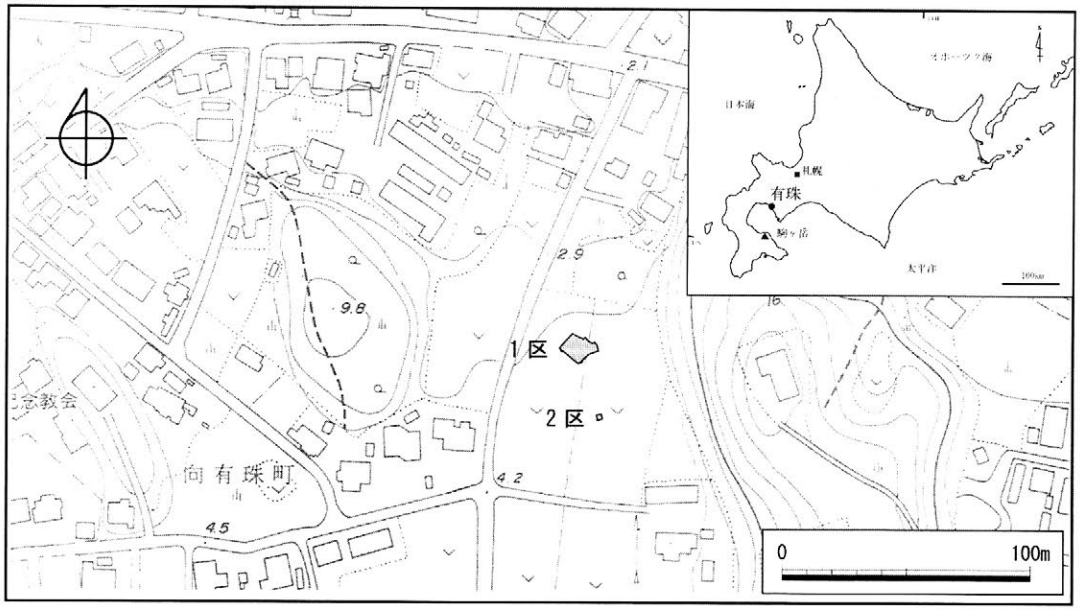
（2）検出した柱穴と炉跡によって、チセ（アイヌ民族の住居）は８×６m 規模であると判明した。

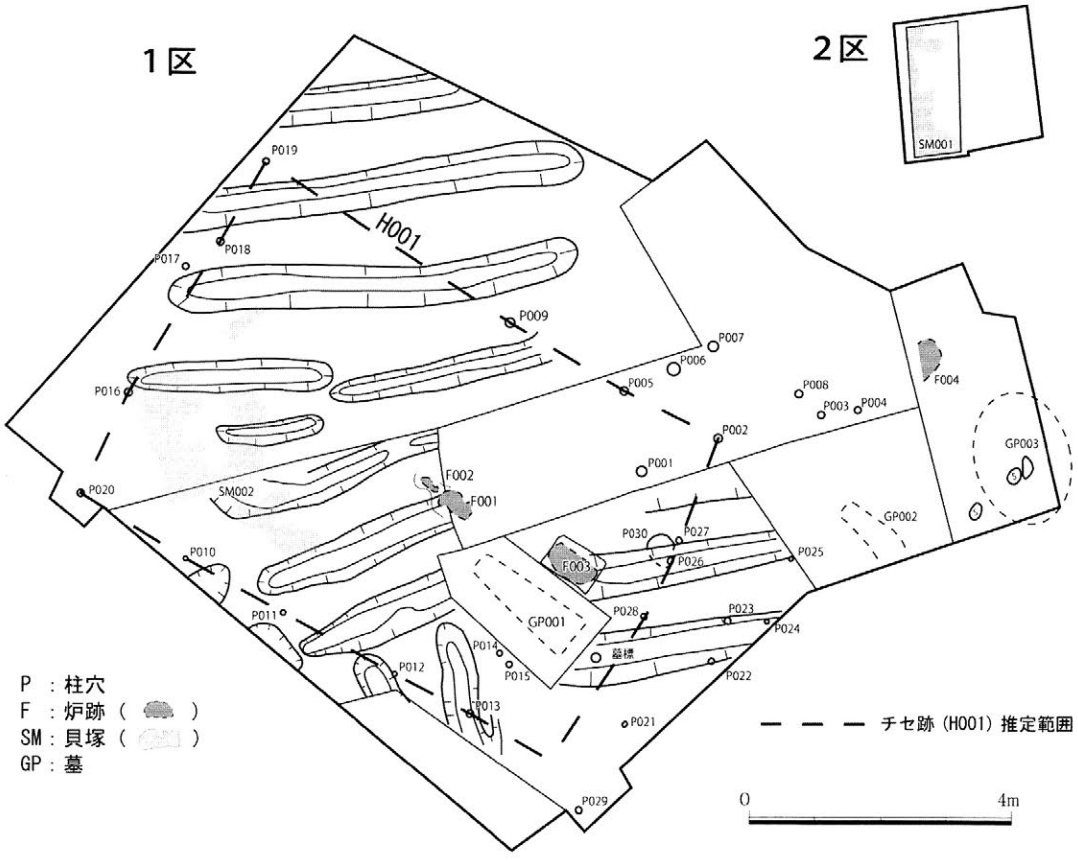
（3）新たに炉跡を２つ確認した。炭化材の年代測定値と津波堆積物との層位関係から、一つは 15 世紀後半のものであることが明らかとなり、16 世紀まで使用されていた可能性もあることが判明した。もう一つの炉は 1640 年に近い時期に使用されていた。これによって、周辺に複数の別住居が存在していた可能性が高いことがわかった。

（4）1663 年に近い時期に使用されていた畑跡を有珠山火山灰（Us-b）との層位関係によって確認した。さらに、畝の上に作物痕のような跡が確認された。また、1640 年の津波堆積物の下方にも畑跡を発見した。

（5）花粉分析の結果、遺跡周辺は乾燥した草地であったことが判明し、寒冷な環境であったことを示唆する結果も得られた。

（6）貝塚から得られたアサリを使って、微細成長縞と酸素同位体の分析を行った。これまで、1640 年～1663 年は現在より貝類の成長速度が遅く、夏が短く低海水温だった可能性が高いことが示されていたが、さらに、1640 年前後で環境が変化していたことが判明し、1640 年以後がより寒冷であったことが判明した。





調査区と遺構配置図　太破線による長方形状の囲みはチセ跡の推定範囲を示す

XRF、ESR 法による芝ヶ原古墳出土玉類の産地分析

The source identification of the jasper and jade beads found from Shibagahara tumulus by means of XRF and ESR

○藁科哲男（遺物材料研究所）、田村朋美（奈良文化財研究所）、中村大介（埼玉大学）、
小泉裕司（城陽市教育委員会）

1. はじめに

城陽市の芝ヶ原古墳から出土したヒスイ製勾玉 8 点、碧玉・緑色凝灰岩製管玉 187 点に対し、完全な非破壊で産地分析を行った。芝ヶ原古墳の時期である弥生時代終末期から古墳時代初頭は、畿内地域に玉類が極めて少ないため、今回の分析は、この時期の流通網を復元する上で重要性が高い。これら玉類は非破壊で蛍光 X 線分析法、ESR 法を用いて石材産地を同定した。

2．ヒスイ製勾玉の分析結果

蛍光 X 線分析法で、分析した勾玉の原石の岩石名の硬玉、軟玉を決めるには、表 1 に示した各ヒスイ（硬玉、軟玉）産地の分析値と比較し勾玉と一致する原石産地を求める。糸魚川産ヒスイと一致し、勾玉の比重は 3.2 以上で糸魚川産硬玉と一致した。

表1 芝ヶ原古墳出土勾玉の原材産地分析結果

勾玉付番	分析番号	各分類基準による判定				総合判定	比重
		図1判定	図2判定	図3判定	比重＆基準(2)		
1	120132	IT,OS,OY	IT,OS	IT,WK,KM	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.361
2	120133	IT,OS,WK	IT,OS,WK	IT,WK	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.325
3	120134	IT,OY	IT	IT,WK	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.338
4	120135	IT,MY	IT	IT,WK,KM	IT,IN	糸魚川産	3.327
5	120136	IT,OS,WK,OY	IT,OS,WK	IT,WK	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.334
6	120137	IT	IT	IT,WK	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.329
7	120138	IT,OS,OY	IT,OS,WK	IT,WK,KM	IT,IN	糸魚川産（ミャンマ産でない）	3.333
8	120139	IT,MY	IT	IT	IT,IN,WK,HK,HD	糸魚川産	3.238

IT：糸魚川 WK：若桜 OS：大佐 NG：長崎 HK：日高 IN：引佐 OY：大屋
KM：神居コタン HD：飛騨 MY：ミャンマー
注：Ni/Fe比は日高産地および飛騨産地に同時に帰属された遺物の分類指標
（飛騨産原石、42個の平均値±標準偏差）Ni/Fe=0.091±0.030
（日高産原石、14個の平均値±標準偏差）Ni/Fe=0.065±0.028

3．管玉の産地分析結果

蛍光 X 線分析法で同定した 187 点の管玉のうち、138 点（74%）がこれまで分析した 412 点の原石・遺物群のどれにも一致しなかった。ESR 分析で佐渡、猿八産原石の猿八 A 形に似た管玉が多数見られるが、管玉の蛍光 X 線分析結果で猿八産原石に同定される遺物は一点もなく、猿八産原石と同定することができなかった。また、花仙山形に同定された管玉も蛍光 X 線

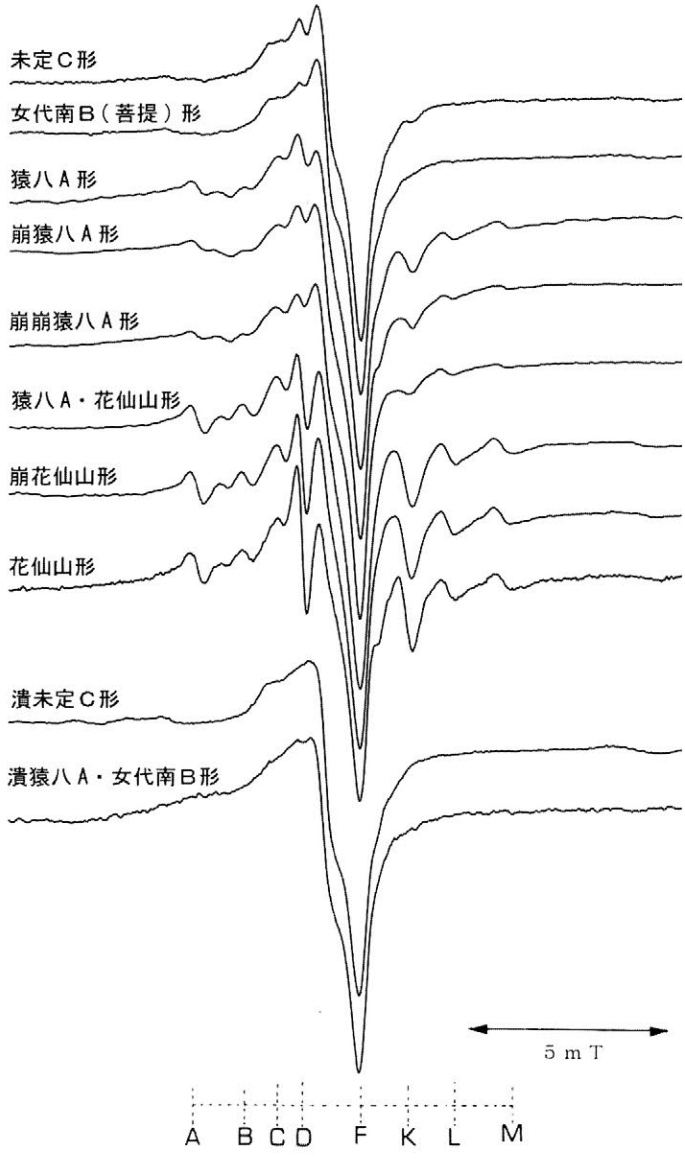
表2 調査した412個の原石・遺物群と一致しなかった管玉で作った芝ヶ原古墳の遺物群

遺物群名	分析回数	Al／Si	K／Si	Ca／K	Ti／K	K／Fe	Rb／Fe
		Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ
芝ヶ原A遺物群	66	0.020±0.002	0.869±0.229	0.177±0.100	0.612±0.279	0.192±0.068	0.277±0.060
芝ヶ原B遺物群	48	0.023±0.002	1.396±0.294	0.085±0.068	0.192±0.087	0.382±0.089	0.663±0.143
芝ヶ原C遺物群	48	0.029±0.003	2.061±0.422	0.027±0.010	0.199±0.029	0.338±0.093	0.341±0.069

Fe／Zr	Rb／Zr	Sr／Zr	Y／Zr	比 重
Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ	Xav±σ
0.853±0.151	0.228±0.032	0.153±0.036	0.073±0.017	1.961±0.106
0.569±0.087	0.371±0.078	0.065±0.042	0.157±0.056	2.048±0.438
1.051±0.113	0.349±0.041	0.055±0.018	0.216±0.044	2.308±0.052

Xav：平均値、 σ：標準偏差値　比重2.29以下は緑色凝灰岩

図1　芝ヶ原古墳出土管玉 ESR 信号（Ⅲ）のスペクトル



分析法で花仙山産原石に一致しなかった。ESR 分析で未定 C 形に同定された管玉 28 点は蛍光 X 線分析法でも未定C遺物群に同定されているため、高い信頼度で未定 C 遺物群の管玉と同定できた。また、比重においても、朝鮮半島出土の未定 C 遺物群の比重である 2.0 前後～2.5 以上の範囲におさまる。

産地が同定できなかった 138 点の管玉の元素比と ESR 信号形が相互に似たものを集めて遺物群を作ったところ、芝ヶ原 A、B、C という 3 つの遺物群（表 2）ができた。統計処理のための分析点数が少ない群は、同じ管玉の分析場所を変えて、複数回分析して利用した。芝ヶ原 A、B、C の 3 点の遺物群は、比重がそれぞれ 1.961±0.106、2.048±0.438、2.308±0.053 と非常に軽く、緑色凝灰岩と思われるが、管玉は碧玉のように非常に緻密で石質は丈夫である。また、分析した管玉の中には芝ヶ原 A 遺物群と天王山 4-1 遺物群、芝ヶ原B遺物群と阿尾島田 1 遺物群、芝ヶ原 A と B 群の(%)両方に同時に同定される遺物がみられ、これら組み合わせの遺物群は比較的組成が近いことを示していると思われる。今後、芝ヶ原 A、B、C 遺物群の使用遺跡および原石産地を明らかにすることにより芝ヶ原古墳の考古学的重要性が明らかになると思われる。

4. 考古学的考察

芝ヶ原古墳からは、翡翠製勾玉、碧玉製管玉、ガラス小玉が出土した。このセットは、翡翠の有無はあるものの、弥生時代終末期にはある程度普遍化していたものである。そして、畿内地域では芝ヶ原古墳が現時点で最古例であり、玉類の数量も多い。特に翡翠製勾玉が 8 点副葬され、その大部分が透明度の高いものであることは注目されよう。碧玉は主要産地である菩提産ではないが、ESR 信号から北陸の小さな産地のものが多いと推定され、翡翠は糸魚川産であることから、芝ヶ原古墳は北陸地方との関係が推測される。しかし、畿内地域では翡翠と碧玉製品が安定して副葬されるのは、桜井茶臼山といった 3 世紀末頃の古墳からとなり、芝ヶ原古墳でみられた様相は現時点では連続しない。こうした事象が畿内地域と北陸地方との関係に関わるのかについて、今後、関係地域の玉類の分析を通じてより詳細に検証していく必要があるだろう。

平原遺跡出土鏡の製作地は九州か？

Were the Hirabaru mirrors manufactured in Kyushu?

馬淵久夫（東京文化財研究所名誉研究員）
Hisao Mabuchi (Researcher Emeritus, Tokyo Research Institute of Cultural Properties)

1. 平原遺跡出土鏡の鉛同位体比の測定

漢鏡の破片（破鏡として）が大量に出土し，そのなかに超大型（復元された径 46.5cm）の内行花文八葉鏡が複数面含まれることで知られる福岡県前原市の平原遺跡については，次の 3 種類の発掘調査報告書が出ている。

①原田大六 1965『福岡県糸島郡平原弥生古墳調査概報』福岡県教育委員会
②原田大六 1991『平原弥生古墳 大日霎貴の墓』上・下巻　平原弥生古墳調査報告書編集委員会（原田氏の没後、遺稿を基にして出土品を再調査し、出版された）
③前原市教育委員会 2000『平原遺跡』前原市文化財調査報告書第 70 集

出土鏡 39 面の鉛同位体比測定は，②の編集委員会の依頼により 1980 年代後半に実施され，②のなかに収録された（馬淵久夫・平尾良光・西田守夫）。その後，柳田康雄は超大型内行花文鏡が 4 面のほかにもう 1 面あることを発見し（報告書②で 12 号鏡のものとされていた遊離した鏡縁），その鉛同位体比が測定されて③に収録された（早川泰弘・鈴木浩子・平尾良光）。本要旨中の鏡番号は，1 面加わって計 40 面の鏡になった報告書③による。

2. 報告書②における鉛同位体比の解釈

1980 年代には，平原遺跡の年代が弥生時代か古墳時代かについて決着がついていなかった。鉛同位体比は 39 面すべてが前漢鏡タイプであり，このような遺物は古墳からほとんど出土しないことを筆者らは②のなかで報告した。遺構と土器の観察からも弥生時代後期との報告があり，報告書②によって，遺跡の年代問題はほぼ決着した。

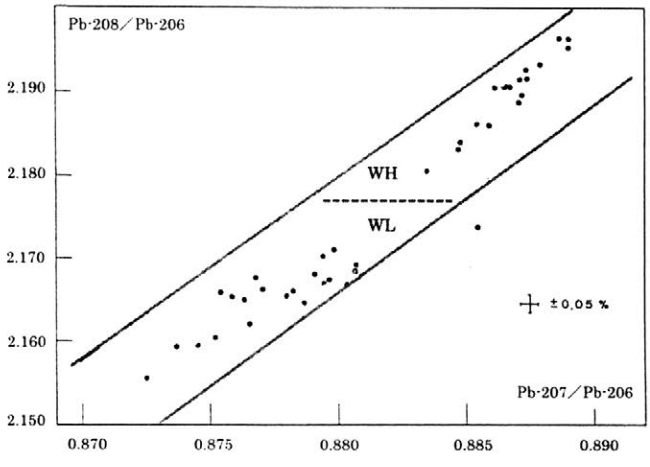


図 1　前漢鏡タイプ領域 W の拡大図
多くのの前漢鏡は WL に収まる。報告書②では WH の素性は不明のまま残された。

しかし，鉛同位体比には解釈できないデータがあった。それは，厳密には従来の前漢鏡タイプの範囲（領域 A、現在は領域 W と呼んでいる）より上方に分布するもので，未知の領域であった。そこで，高い（high）の意味で AH（ここでは WH）と呼んで区別しておいた（図 1）。当時はそれ以上の説明はできなかったが，本講演ではこれの解釈が議論の中心になる。

3. 平原鏡の製作動向に関する相反する２説

岡村秀典は、超大型の内行花文鏡と「大宜子孫」内行花文鏡だけを倣製鏡とし，それ以外の34面を舶載の漢鏡として編年を適用した（「福岡県平原遺跡出土鏡の検討」1993『季刊考古学』第43巻 pp. 44-47)。一方，柳田康雄は報告書③のなかで，出土鏡の大半を占める方格規矩四神鏡のすべてが倣製鏡で，舶載鏡は16号鏡（「□宜子孫」銘内行花文鏡）と17号鏡（虺龍文鏡）だけだと主張した。柳田は，多くの方格規矩四神鏡に，中国鏡に見られない銘文・紋様や製作時の細かい痕跡が見られること，およびそれらの鏡面の一部分に，やはり中国鏡に見られない意図的に施された薄緑色の「着色」があることをその根拠として挙げている。

4. 岡村編年は成立するか―鉛同位体比による検証―

相反する２説と鉛同位体比の関係を思考しているとき，筆者は次の３点に気が付いた。

①方格規矩鏡の大半が岡村編年では漢鏡５期に属する。漢鏡５期は、鉛同位体比が前漢鏡タイプから後漢鏡タイプへ移行する時期である（考古学と自然科学 62 号 2011，pp.43-63)。

②したがって，岡村編年をこれらの鏡群に適用して鉛同位体比の前漢鏡タイプから新材料への移行が見られれば，それらは漢鏡であって倣製鏡ではない。

③前漢鏡タイプと思い込んでいた領域 WH に入る鉛は、発想を転換すれば、新材料とみなせる。

表 1 に岡村編年と鉛同位体比の WL と WH の関係をまとめた。結果は次のように解釈される。

まず，漢鏡４期の２面はともに WL（前漢鏡タイプ）である。

漢鏡５期になると，WL：WH は（前期）５：１，（中期）９：１０，（後期）１：６ と，時間の経過とともに WL から WH に原料が移行していく様子が見られる。つまり，岡村編年は明らかに成立していると言える。

表１ 平原出土鏡の岡村編年と鉛同位体比の関係

漢鏡	時期	鏡式	型式	WL	WH	同型鏡
４期	前１世紀後半	虺龍文鏡	Ⅰ	1		
	紀元前後	方格規矩鏡 No.40	Ⅲ	1		
５期	後１世紀前半	内行花文鏡 No.16	四葉座Ⅰ	1		
		尚方作方格規矩鏡	Ⅳ	4	1	
	後１世紀中葉	尚方作方格規矩鏡	VA	8	4	２組５
		陶氏作方格規矩鏡		1	6	３組６
	後１世紀後半	尚方作方格規矩鏡	VB	1	4	１組３
		陶氏作方格規矩鏡		0	2	
			計	17	17	

5. 倣製鏡説は否定されるか？

表１に掲げた34面の鏡が漢鏡製作の秩序のなかにあることがわかったが，倣製鏡説は否定されるのであろうか。最近はこの用語そのものが問題になっているが，柳田の意味するところは，「日本列島（特に平原近辺）で倭の工人によって作られた鏡」と推測される。

鉛同位体比の結果が示唆するところは次の２点であり，柳田説を完全否定するものではない。

①平原遺跡出土鏡が，後漢中期以降の新材料（２系統の江南産）ではなく，WH（たぶん前漢初期の原材料）で作られているのは，特殊事情（日本列島で製作）のためと見做しうる

②漢の工人群が渡来して，本国の製作所と往復するなど，連絡を保ちながら長期にわたって製作したとするのが最も妥当な解釈である。漢の工人の監督下で倭の工人が製作した可能性もある。

なお，講演では，漢鏡に例のない「陶氏作」銘鏡についても私見を述べる。

石川県大川遺跡から出土した九谷古窯産磁器の生産地推定
Provenance study of porcelains produced in Kutani kiln excavated from Okawa site in Ishikawa prefecture

新免歳靖（東京文化財研究所）、伊東 聡（福岡県立田川高等学校）、
藤田邦雄（石川県埋蔵文化財センター）、○二宮修治（東京学芸大学）

1. はじめに

石川県小松市大川遺跡は市街地の北側、梯川に面した地域に所在する近世遺跡で、町屋敷跡や街道跡が検出されている。特に注目されるのが、17 世紀中頃～後半の九谷古窯（石川県加賀市）産と推定される磁器が多数出土した点である。九谷古窯は、国指定史跡『九谷磁器窯跡』地内にある複数の窯の総称である。その中の九谷 1 号窯は、17 世紀代に肥前以外の地で磁器を焼成した初期の窯として知られており、大川遺跡の資料もこの窯の製品と考えられる。17 世紀の九谷古窯産磁器（以下、九谷磁器とする）は、石川県内の遺跡や東京大学本郷構内遺跡などの消費地遺跡から各遺跡で数点程度が確認されている過ぎず、大川遺跡の資料は九谷磁器の生産と流通を考える上で重要な資料となっている。一方、大川遺跡からは肥前陶磁器なども大量に出土しているが、生産地が不明な磁器も多数存在し、その中には九谷磁器が含まれている可能性が高い。そこで、本研究では大川遺跡出土磁器製品について ICP 発光分光分析法による胎土分析を行った。磁器胎土の化学組成から、考古学的に九谷磁器とされた磁器についてはその生産地の検証を、生産地不明磁器については九谷産か肥前産かの生産地推定を行った。

2. 分析資料

資料は、大川遺跡出土の 17 世紀前半から 18 世紀前半の磁器 54 点である。内訳は、九谷磁器 21 点（白磁・染付・色絵）、肥前磁器 1 点（色絵染付）、生産地不明磁器 32 点である。生産地不明磁器は、考古学的に可能性がより高い産地に振り分け、「九谷ヵ」、「肥前ヵ」と表記した（「九谷ヵ」23 点（白磁・染付・色絵・鉄釉）、「肥前ヵ」9 点（白磁・染付・色絵））。比較用の生産地遺跡資料として、肥前諸窯跡から出土した磁器（17 世紀中頃の有田・嬉野・波佐見の計 30 点）と九谷古窯跡から出土した磁器（3 点）を用いた。

3. 分析方法

分析には、ICP発光分光分析（Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy：ICP-AES）を用いた。試料の溶液化はテフロン加圧分解容器を用いた酸分解法によった。分析機器には、セイコー電子工業（現日立ハイテクサイエンス）製SPS1200 を用いた。測定元素は、磁器の胎土を構成する主成分元素 8 元素（Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K）、微量成分元素 2 元素（Sr、Ba）の計 10 元素である。GSJ（Geological Survey of Japan：独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター）配布の標準岩石JB-1aとJG-1aを用いた。定量値は岩石・鉱物学の慣例に則り、酸化物として示した。主成分元素の合計値を 100%から引いた値がほぼケイ素（SiO_2）含有量の推定値とした。

分析資料の化学組成の特徴を明らかにし、分析資料の異同を検討するために、測定 10 元素濃度によるクラスター分析を実施した。クラスター分析には IBM 製多変量解析ソフト IBM SPSS Statistics 21.0 を使用した。距離尺度には標準化ユークリッド平方距離、分類手法には Ward 法を選択し、Z 得点で標準化した。

表 1　大川遺跡および九谷古窯から出土した九谷磁器の胎土の化学組成（Sr・Ba は ppm、その他は%）

n=40	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	合計	SiO_2（推定）	Sr	Ba
最大値	0.55	30.6	1.85	0.02	0.30	0.19	0.82	5.43	37.3	74.5	120	1023
最小値	0.14	19.1	0.68	0.01	0.10	0.06	0.31	3.70	25.5	62.7	65	738
中央値	0.22	24.5	0.92	0.01	0.18	0.10	0.45	4.63	31.0	69.1	85	899
平均値	0.24	25.2	0.94	0.01	0.18	0.11	0.50	4.67	31.9	68.1	87	876
標準偏差(±)	0.08	2.7	0.20	0.00	0.04	0.03	0.15	0.52	3.0	3.0	9	69

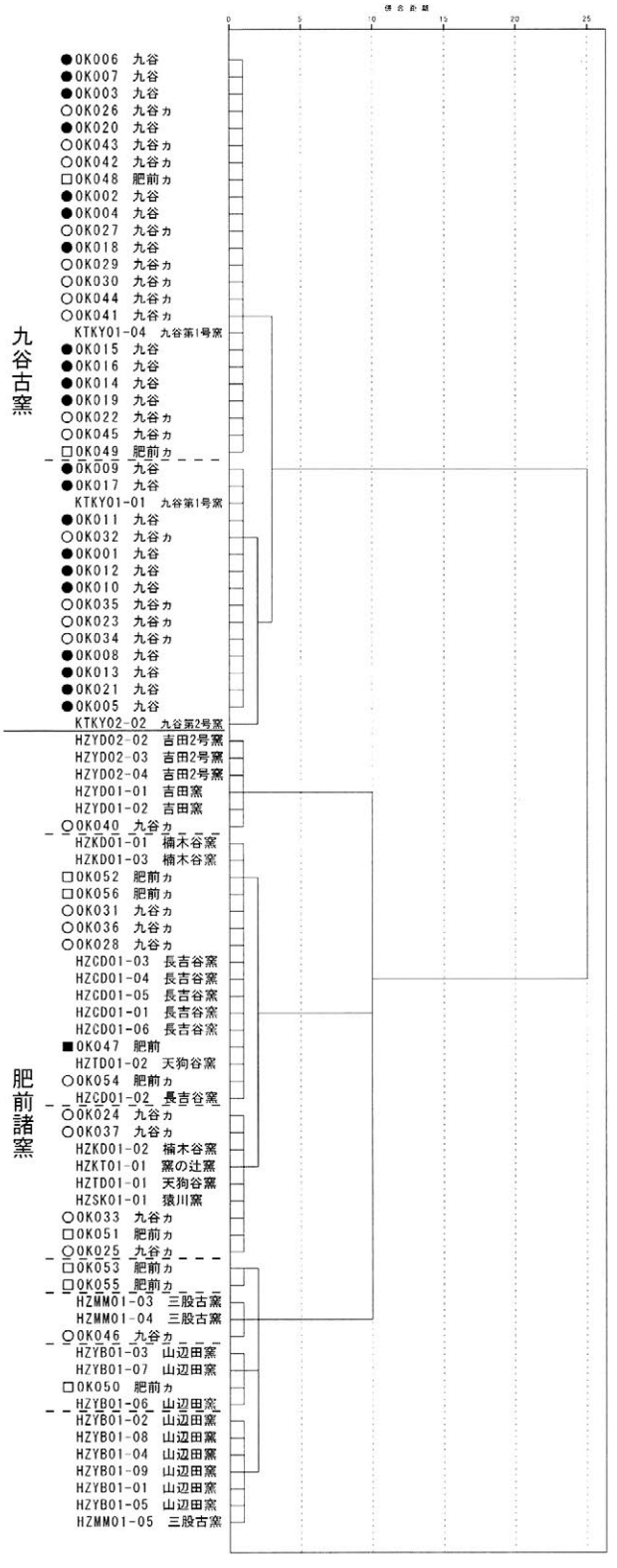


図1　クラスター分析結果

● 大川遺跡出土の九谷磁器

○ 大川遺跡出土の「九谷ヵ」磁器

■ 大川遺跡出土の肥前磁器

□ 大川遺跡出土の「肥前ヵ」磁器

4. 分析結果および考察

表1にICP-AESによる九谷磁器の定量分析値を示す。クラスター分析の結果、磁器胎土の化学組成によって対象資料は大きく九谷古窯産の磁器と肥前諸窯産の磁器に分類された（図1）。考古学的に九谷磁器と同定されていた磁器21点は、九谷古窯出土磁器3点と同一グループをなし、全て九谷古窯産であることが確認された。考古学的な分類の精度の高さを証明する結果である。従来の研究では肥前磁器と九谷磁器は胎土の化学組成によって分別できることが明らかになっていたが、今回の結果もそれと整合性のある結果となった。

また本分析では、測定元素の中でもSrとBaの存在量が九谷磁器と肥前磁器の判別には有効であることが明らかとなった（図2）。

生産地不明磁器については、九谷磁器に同定された磁器が「九谷ヵ」磁器14点、「肥前ヵ」磁器2点の合計16点であった。同様にして、肥前磁器に同定された磁器が「肥前ヵ」磁器7点、「九谷ヵ」磁器9点の合計16点であった。

この結果、現時点において大川遺跡から出土した九谷古窯産の磁器は37点である。

参考文献

(公財)石川県埋蔵文化財センター『小松市大川遺跡』2014

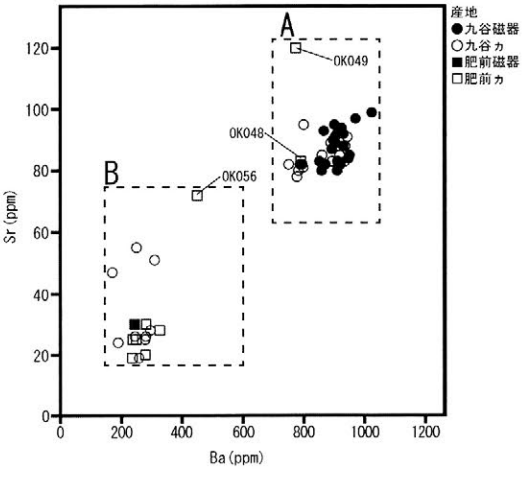


図2　Sr－Ba元素濃度分布図

本図では、大川遺跡出土資料をプロットした。点線の範囲は、生産地資料も含めた各グループの分布域を囲んだものである。

光音響赤外分光法(PA FT-IR)による文化財資料非破壊分析の基礎的研究

A FT-IR Photoacoustic Spectroscopy of Cultural Properties for Non-destructive Researches

○奥山誠義(奈良県立橿原考古学研究所), 佐藤昌憲(奈良文化財研究所/京都工芸繊維大学)
○Masayoshi Okuyama(Archaeological Institute of Kashihara, Nara Pref.)
Masanori Sato(Nara National Research Institute for cultural properties / Kyoto Institute of Technology)

1. はじめに

赤外分光分析法は, 特に有機質材料から成る物質の材料分析に非常に有効であり, 文化財分野でも塗装材料[1]や天然繊維[2], 接着材料[3]などに広く利用されてきた. これまで文化財に用いられてきた赤外分光分析法は, 主にKBr法や透過法, 全反射法(ATR法)などである. これらの場合, 錠剤化粉末に混ぜる・加圧するなど, わずかながらでも資料の破損を伴うことがあった. 一方, 光音響赤外分光法(FT-IR Photoacoustic Spectroscopy 以下, PA FT-IRと称す)は, 理論上, 一切の資料の損傷を伴わず, 繰り返し測定が容易である特長をもつ.

本研究ではこの特長に注目し, これまで文化財分野で利用例の少ないPA FT-IRを用いて, 透過法やATR法による各種資料の測定との比較を行い文化財への適性を検討した.

2. 光音響赤外分光法について

光音響効果は1880年, Alexander Graham Bell によって発見された現象で, 連続した光を物質に照射すると, その光と同じ波数の光が物質から発生する現象である. 光を物質に当てると, 光エネルギーを吸収した分子が同じ波数のエネルギーを出し, その熱により周りのガスが膨張する. この膨張するときの振動を特殊なマイクロホン等で測定し, そのエネルギーを放出している物質の組成を分析する. この原理を赤外分光分析に応用したものが, 光音響赤外分光法(FT-IR Photoacoustic Spectroscopy: PA FT-IR もしくはPAS FT-IR)と呼ばれている. PA FT-IRは, 一定寸法以下の試料ならば試料容器(サンプルカップ)に試料を入れるだけで, 非破壊でIR測定が可能である. 採取・混合・加圧といった試料の変形や損傷を伴う前処理作業が何ら必要なく, 試料からの情報を得ることが可能である.

3. 試料と方法

本研究では, 天然繊維(精練絹糸・植物繊維), 生漆, 琥珀, 出土炭化繊維, 鉱物を測定試料とした. 試料はサンプルカップに十分収納可能なサイズの破片を選択し測定に供した. 測定は, PekinElmer Spectrum100にGasera製PA-300を装着し, PAスペクトルを取得した. 測定条件は, 測定波数領域4000~450cm^{-1}, 波数分解8cm^{-1}, 積算64回である.

4. 結果

精練絹糸と生漆, 琥珀のPAスペクトルをFig.1a～cに示した. いずれの試料においてもATRスペクトルと同等なスペクトルが得られ, IR スペクトルとして十分利用可能であることがわかる. 特に琥珀では

ATR に比べピークの分離が明瞭である. Fig.2 には精練絹糸小片(1×3mm)と単繊維の PA スペクトルを比較した図を示す. 小片にくらべはるかに小さな単繊維試料の PA スペクトルも, 小片の PA スペクトルに遜色ない程度の強度を示した.

5. まとめ

これまで赤外分光分析法が用いられてきた素材の文化財については, ほとんどが利用可能である. また, 非常に小さな試料に対しても十分な感度を備えている. PA FT-IR は資料(試料)の将来への保存や同一試料による再測定を可能にすることから, 文化財には非常に有効な分析手法の一つである. PA FT-IR は試料全体を測定し, 全容を把握しているに過ぎず, 顕微 FT-IR や ATR 法が必要である. 試料の性質や形態により手法が選択できることは文化財の材料を探る上でも望ましい.

今後も適用できる試料や試料構成, 試料量などの検討を加えながら文化財資料への適性を検討したい.

本研究では, (株)エス・ティ・ジャパンおよび(株)パーキンエルマージャパンに多大なる技術的協力ならびに助言をいただいた. ここに記して感謝の意を表します.

なお, 本研究は, 平成 25 年度日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B):No.25750107, JSPS KAKENHI Grant Number .25750107)の成果の一部である.

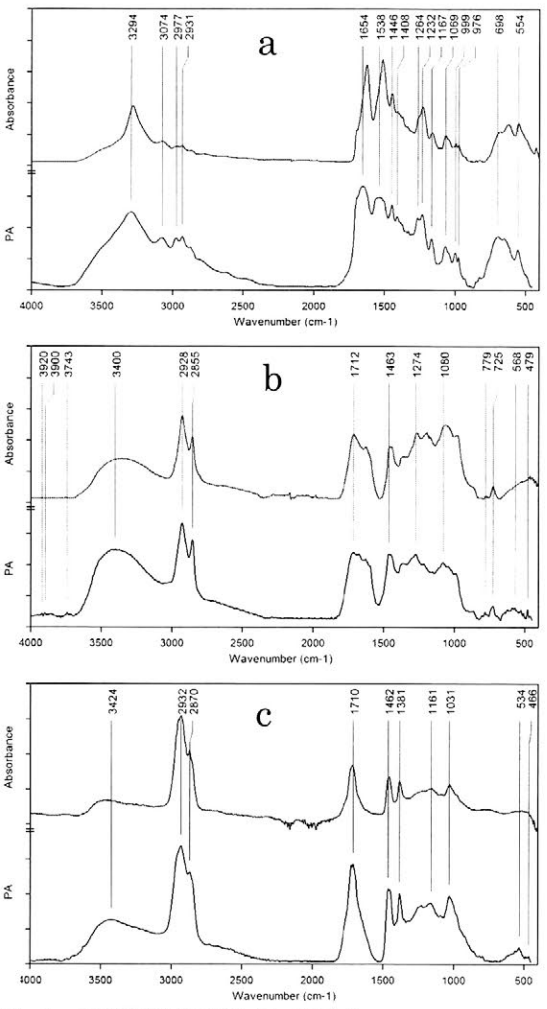


Fig.1 各種資料の PA スペクトル
a: 精練絹糸, b: 生漆, c: 琥珀. 各資料とも上段が ATR 法, 下段が PA FT-IR 法

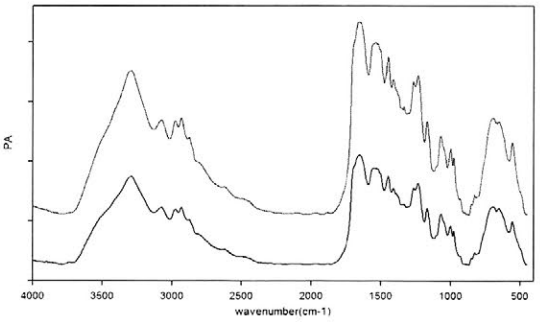


Fig.2 試料量の異なる同一素材試料の PA スペクトル
上:1×3mm の試料, 下:単繊維試料

参考文献

1 赤田昌倫ほか「談山神社の外装塗装に使用された塗装材料の研究」『奈良文化財研究所紀要』 40-41 (2012)

2 奥山誠義ほか「放射光顕微赤外分光分析法による出土繊維文化財の材質同定及び劣化状態の解析」『分析化学』, 59,*6*, 513-520 (2010)

3 中村力也ほか 「正倉院に伝来する木工品に用いられた接着剤の分析」『文化財保存修復学会誌』, 56, 1-14, (2012)

和紙とヨーロッパとの出会い：東洋文庫所蔵イエズス会キリシタン版文書用紙の分析

Encounter of Japanese Paper with Europeans: Analysis of Paper of the Jesuit Christian Edition of the Collection of Toyo Bunko

○江南和幸*、坂本昭二*、岡田至弘*、豊島正之**、石塚晴通***
*龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター、**上智大学、***東洋文庫研究員（北海大学名誉教授）

1.はじめに

紀元前2世紀に始まり，後漢のA.D.105年には技術として確立した製紙法がヨーロッパに渡るのは，はるか1000年の時を経た12世紀以後の事である．しかしながら，ヨーロッパの人びとが日本の紙と出会ったのは，さらに遅れてようやく16世紀末，ヴァリニャーノに代表されるイエズス会宣教師たちがキリシタン版文書の印刷に用いた紙が最初であった．日葡辞書には「鳥の子紙」，「杉原紙」の名前が列挙され，キリシタン版にはそれらの紙が使われたとされている．この事実は，寿岳文章 (1)，また最近では，豊島たちによるヨーロッパに残る，日本には未知であった数多くのキリシタン版の用紙の観察からも確認されているが (2)，これまで詳細な顕微鏡観察の結果は示されていなかった．今回，東洋文庫の特別の許可を得て，同館所蔵の重要文化財「ドチリーナ・キリシタン」を含む3冊のキリシタン版文書用紙を，顕微鏡観察により繊維分析，紙組織観察を行い，初めて「科学の眼」で見たキリシタン版文書用紙の分析結果と，同時代の日本の写本，版本に使われた用紙の分析結果と比較し，ポルトガル宣教師たちの，紙に対する確かな目を確認することができた．

2. 実験方法

キーエンス VHX-500 デジタル顕微鏡により，東洋文庫コレクションの重要文化財「ドチリーナ・キリシタン（NIPPONNOIESVS no Companhis no Superior）」，キリシタン版「Flosculi(聖教精華)」，キリシタン版「Spiritual Xuguio(修行国字本)」の3冊，および，これらの書とほぼ同時代の，龍谷大学図書館蔵の日本の上製本である奈良絵本の「志賀物語」などの用紙，また武士の手による天正写本，天正~慶長刊の古活字本の用紙を，詳細に観察撮影し，比較検討した．

3.結果と考察

3-1:キリシタン版用紙の顕微鏡観察

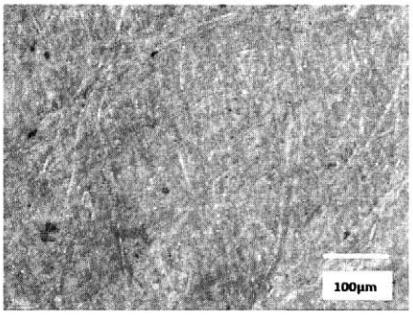


Fig.1 ドチリーナ・キリシタン本文用紙：鳥の子紙

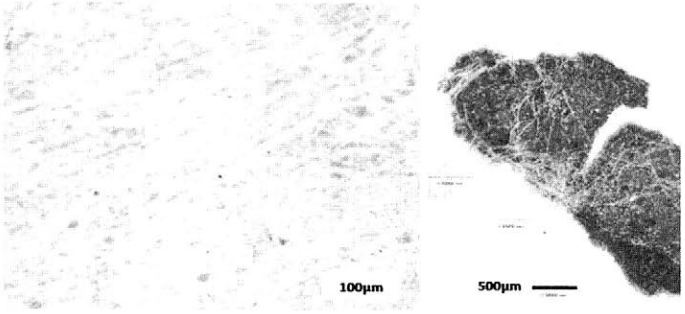


Fig.2(a) Flosculi 本文用紙：鳥の子紙. Fig.2(b) Flosculi 扉用紙に残存する雁皮樹皮表皮

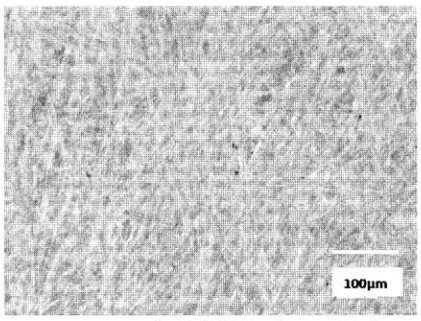


Fig.3(a) Spiritual 本文用紙：鳥の子紙

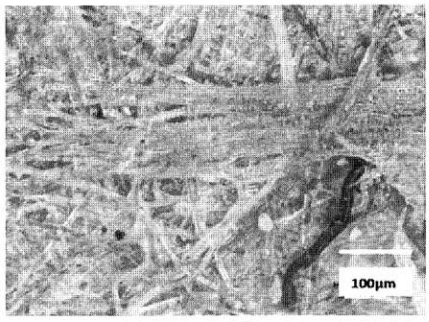


Fig.3(b)Spiritual 見返し染紙：中国宣紙（わら入り）

Fig.1 はドチリーナ・キリシタン本文用紙の顕微鏡写真である．同時代の奈良絵本「志賀物語」などの本文用紙の鳥の子紙に酷似の組織と繊維微細組織を示す．Fig.2(a) は Flosculi 本文用紙である．Fig.1 と同様に上質の鳥の子紙であることは明らかである．Fig.2(b) は Flosculi 扉用紙に残る，雁皮表皮と同定された植物痕跡である．繊維だけでなく，植物痕跡からも雁皮紙であることが確認された．Fig.3(a) は，Spiritual の本文用紙で，同様に鳥の子紙であった．しかし，見返し紙は青色に染色されていることから，当時まだ染紙の技術がなかったヨーロッパの紙ではなく，また稲わら組織が残存するので，中国製のわら入り宣紙と同定される，Fig3(b)．この本が，中国における，ポルトガルの居留地マカオに持ち込まれ，同地で見返しに宣紙を使ってヨーロッパ式の製本が施されたことを示す．

3-2: 同時代の和紙との比較

比較した同時代の「奈良絵本」各種の本文用紙はいずれも鳥の子紙であったが，天正時代の武士による写本「明鏡録」用紙は，杉原紙と同定できる良質の楮紙であった．古活字本「狭衣」，慶長―天和年間の古活字本「善界坊」，「長恨歌」の用紙は，いずれも上質の楮紙であった．宣教師たちは，すでに和紙について，鳥の子紙をはじめとする雁皮紙，杉原紙，楮紙の認識を持っていたが（日葡辞書），上記キリシタン版の作成にあたって，宣教師たちが日本で使われた当時のもっとも上質の「鳥の子紙」を、適切に選択していたことが分かった．

3-3: ヨーロッパへ伝わった鳥の子紙

(1)では著者自身の見聞に基づいて，レンブラントがその銅版画に好んで和紙を使ったとされている．しかし和紙がどのようにオランダまで伝わったのかは，(1)を始め、これまで出版された和紙をめぐる多くの著書では必ずしも明確ではない．実は以下に示すように、加藤栄一による，平戸オランダ商館の商業帳簿記録の貴重な発掘により，この間の経緯が明らかとなっている(3)．それによれば，1636 年，平戸の平野屋作兵衛が鳥の子紙を総計 58 束（加藤によると，1 束=100 枚とされている）オランダ側に売ったこと，1637 年のオランダ商館購入品目には，同じく 17 束（加藤によれば，ここでは 1 束=1000 枚と換算してある）の大量の鳥の子紙の購入，がそれぞれ記載されている．ポルトガル宣教師の和紙の情報が，確実にオランダ商人に取得され，このような大量の和紙のオランダへの伝来が始まったことが分かる．イエズス会宣教師の目と，オランダ商人の嗅覚とが，レンブラントが鳥の子紙を使うに至った経緯であることは間違いない．

文献

(1) 「和紙の旅」：寿岳文章，1973 年，芸艸堂

(2) 「キリシタンと出版」：豊島正之編，2013 年，八木書店

(3) 加藤栄一：「平戸オランダ商館の商業帳簿に見られる日蘭貿易の一断面」，東京大学史料編纂所報，第 3 号(1968 年), p. 63 および「1637 年平戸オランダ商館貿易表(1)」，同第 5 号(1970 年)， p.76

南鴻沼(みなみこうぬま)遺跡から出土した縄文時代の考古遺物の化学分析

Chemical analysis of archaeological relics of the Jōmon period excavated from the ruins Minami-Konuma

○湯淺健太（明治大学大学院）、本多貴之（明治大学）、宮腰哲雄（同左）、早坂仁敬、目黒まゆ美

1. 緒言

漆は古来より日用品から工芸品に至るまで幅広い分野で利用されてきた天然塗料である。この漆を用いた製品が、数多くの遺跡から発見されている。遺跡から出土した考古遺物などの歴史的製品は、古来の人々が生活していた名残であり、その時代の文化を知るための重要な手がかりである。そのため、これらの漆製品を含めた出土考古遺物は、遺跡調査をはじめとした考古学的観点から盛んに研究が行われている。しかし、遺物に関わる考古学調査は観察や文献をもとに材料や技術を特定しているため、情報の正確性に欠けていることが懸念される。

そこで、本研究では、種々の化学的手法を用いた多角的な分析を行い、漆や顔料などの使用材料や作製技術を明確にすることで、考古学調査に寄与することを目的としている。

2. 試料

埼玉県さいたま市南鴻沼遺跡から出土した縄文時代の漆塗り製品の中から、木胎で赤色塗装の3つの製品 (No.003：後期前葉～中葉、No.1107：後期前葉～中葉、No.1140：晩期中葉) について分析を行った (**Fig. 1**) 。

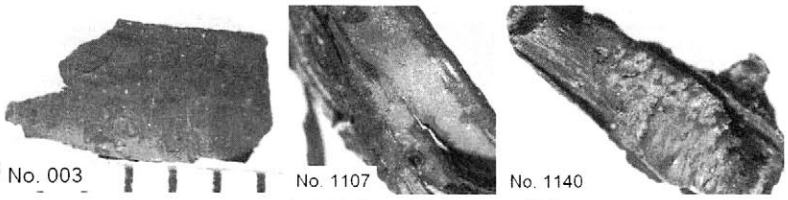


Fig. 1 赤色塗装の木製品の剥落片

3. 結果と考察

3.1. 熱分解-ガスクロマトグラフィ/質量分析法を用いた分析結果

この手法において、分析試料は不活性ガス雰囲気下で熱分解され、材料を構成する成分由来の分解物が生成する。木製品の分析結果から、すべての木製品で3-Heptylphenolと3-Pentadecylphenolの存在が確認できた。この成分は、日本・中国に生育する*Toxicodendron vernicifluum*の木から採取されたウルシオールを主成分とする漆液より形成した漆塗膜の熱分解に見られる特徴である。また縄文時代は日本で漆を採取・利用していたことが報告されていることから、木製品に利用された漆は、日本産の*Toxicodendron vernicifluum*の木から採取した樹液であることが示唆された。さらに木製品 (No. 003, 1107) では、水銀元素に由来する7つの同位体の存在を示した。これは赤色塗装の顔料として水銀朱 (HgS) の存在を示唆する結果である。

3.2. 横断面図分析法、フーリエ変換赤外分光法、蛍光X線分析法を用いた分析結果

木製品 (No. 003) は赤色2層で、使用顔料は水銀朱 (HgS) が示唆され、各層から漆の存在を確認した。下層は顔料が疎らで粒径も大小ばらつきが見られた一方、上層は顔料が密に存在し粒径も小さかった。これより、漆と水銀朱を混ぜた朱漆を各層で利用していることが判明した (**Fig. 2** 上) 。

木製品 (No. 1107) の塗装は3層構造で上2層は赤色塗装だった。しかし、各赤色層における粒子の形状は異なり、下層の赤色層はベンガラ (Fe_2O_3) 、上層の赤色層は水銀朱 (HgS) であることが示唆された。また各層から漆の存在が確認できた。以上のことから、この製品は、漆の下塗りのあとに漆とベンガラを混ぜたベンガラ漆を塗り、最後に朱漆を塗装したことが明らかになった (**Fig. 2** 中) 。

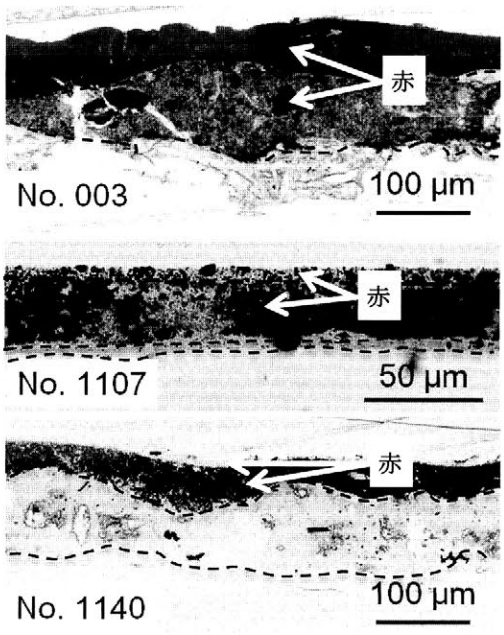


Fig. 2 木製品の横断面図　透過光観察
(No. 003, 1140 : 200 倍、No. 1107 : 500 倍)

木製品 (No. 1140) の塗装も3層構造で上2層は赤色塗装であった。この2層の赤色層はどちらも同様な粒子の形状をしており、使用顔料はベンガラ (Fe_2O_3) だと分かった。そして各層で漆の存在を確認したことから、製品は漆の下塗りをしたのち、ベンガラ漆を用いて2層の塗装をしたことが判明した (**Fig. 2** 下) 。

確認できた赤色顔料のベンガラ粒子は、細長い棒状をしていた。ベンガラにはいくつかの種類が存在し、その中に中空円筒状の粒子形態を有するパイプ状ベンガラがある。これは水が豊富な湿地環境下に生息する鉄バクテリアによって形成される産出物である [1)]。遺跡調査より、本遺跡に水場遺構の存在が確認されていることから、利用されたベンガラの種類はパイプ状ベンガラであることが推察され、同遺跡の水場から採取されたものだと考えられる。

4. 結言

本研究では、縄文時代の遺跡から出土した木製品を分析した。木製品の塗装材料は日本に生育する *Toxicodendron vernicifluum* の木から採取した樹液を利用していることが明らかになった。製品の塗装構造は2〜3層で、赤色塗装の顔料は朱やベンガラであることが判明した。顔料の利用では、朱のみ、朱とベンガラの併用、ベンガラのみ、と違いが見られた。また同遺跡の他の木製品の分析結果も含めると、縄文時代後期では主に朱を、晩期ではベンガラのみを利用しており、それぞれの赤色層部分は1〜2層という結果になった。以上の結果は、これまでの遺跡調査で報告されている関東地方・縄文時代後期〜晩期における塗膜構造と顔料の事例に類似しており、同様な傾向を示している。これより、本遺跡が同地域内の周辺遺跡と同様な漆文化や漆工技術を有していたと考えられる。

5. 参考文献

1) 北野信彦, 古代木造建造物のベンガラ塗装に関する研究(Ⅱ)-パイプ状ベンガラの生産と使用に関する基礎的調査-, 考古学と自然科学 56, 2007, 41–63.

敦煌文書料紙と奈良平安時代の古文書料紙の比較分析

Paper Comparison between Dunhuang Manuscripts and Nara-Heian Period Manuscripts

○ 坂本昭二 1)、Nathalie Monnet 2)、岡田至弘 1)
1) 龍谷大学 古典籍デジタルアーカイブ研究センター、 2) フランス国立図書館
○ Shouji Sakamoto 1)　Nathalie Monnet 2)　Yoshihiro Okada 1)
1) Ryukoku University Digital Archives Research Center、 2) Bibliothèque nationale de France

1. はじめに

日本には中国や朝鮮から渡ってきた文書が多数存在しているが、このような渡来した文書と日本で作られた文書が混在してしまっており、これらを分類することは長年の課題である。今回、数百点の敦煌文書の分析結果[1, 2]、これまでに2回実施された正倉院文書の分析報告書にある結果[3, 4]、及び、若干の奈良平安時代の古文書を分析した結果を比較したところ、敦煌文書と奈良平安文書の間で紙の糸目幅に関して大きな違いを認めたので報告する。

2. 紙の糸目

製紙の過程で使用される道具の一つに漉き簀があり、これは竹ひご、萱などを編んで作られている。紙漉きにはこの簀桁に紙料液を汲み込み、そして水分を取り除く行程がある。糸目はこの行程で紙に残される竹ひごや萱などを編んだ糸の模様であり、通常は複数本ある。紙の糸目を観察するには透過光を用いると視認しやすく、糸目が確認できる場合にはその幅を計測する。図.1は隋の大業四年(608)の記年を持つ大般涅槃経(Pelliot Chinois 2117)の透過光撮影画像であるが、糸目模様が上下方向に10本(正確には糸目が二重線なので20本)確認できる。

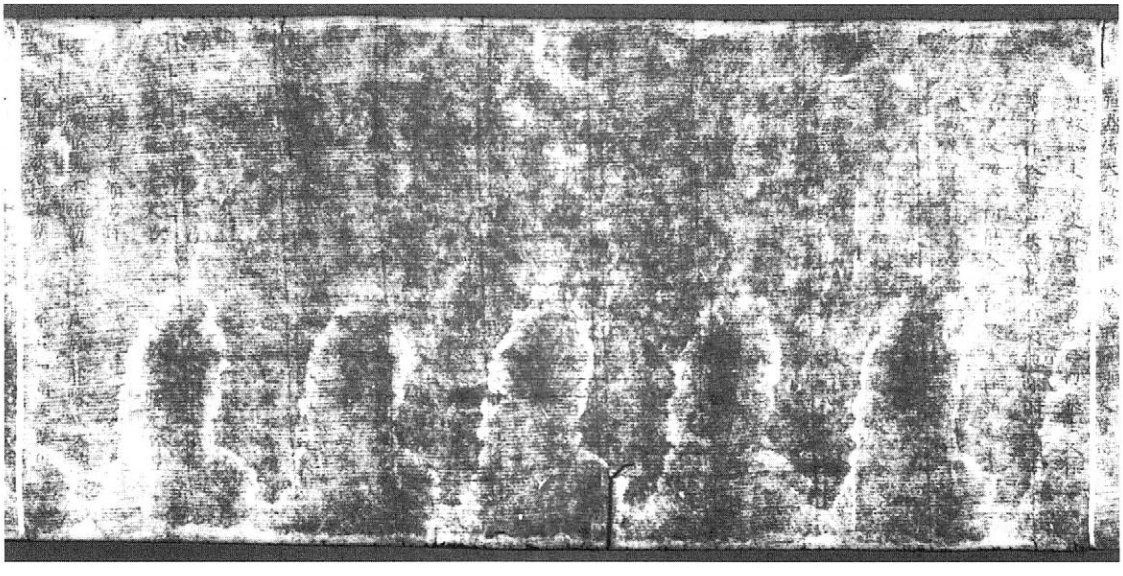


図.1 Pelliot Chinois 2117　大般涅槃経巻第卅三(尾題) 第9紙　隋 大業四年(608)

3. 敦煌文書料紙における糸目

敦煌文書の紙には様々な簀の目や糸目模様が見られる。簀の目の分析では年代や地域によって簀の目の数が異なることが報告されている[1, 2]。糸目に関してもそのような特徴を示すことができる。安史の乱(755-763)以前は糸目幅が3.5～6 [cm]程度であるが、安史の乱以降は5～9 [cm]程度になる(図.2参照)。安史の乱による紙の変化は糸目に限ったことではなく、紙繊維、簀の目など様々な特徴に変化が見られる。

また、西魏、北周、南朝(梁、陳)、隋、唐時代の文書の一部の紙に糸目模様が図.1 に示すような二重線(糸目幅が広狭を繰り返す。)になっているものが少なからず見られた。このような特徴を持つ紙が敦煌文書以外にも、正倉院聖語蔵経巻の隋経第1号賢劫経巻 2 でも見られることが報告されている[3]。しかし、正倉院文書の調査報告書には、数点を除いてこのような二重の糸目線に関する報告は見当たらない。

4. 敦煌文書料紙と奈良平安時代古文書の糸目幅の比較

敦煌文書の糸目計測では、糸目幅が確認できる場合にはすべての糸目幅を計測した。しかし、糸目幅は一定ではないので、比較データにはそれらの平均値を用いた。例えば、図.1 に示した文書(Pelliot Chinois 2117)の第 9 紙には二重の糸目が 10 本(二重線を 1 本と数えている。)あり、各糸目幅が図中の左から 5, 5, 4.7, 4.9, 4.7, 4.5, 5.2, 5.3, 5.2 [cm]であるので、比較データにはこれらの平均値である 4.94 [cm]を用いた。奈良平安時代文書料紙に関しては、糸目幅はいくつかの報告書や文献[3, 4, 5]に記載されているので、それらの値を集めてそのまま比較データとして使用した。このようにして集めたデータをプロットしたものが図.2 である。この結果、敦煌文書の料紙の糸目幅と奈良平安文書料紙の糸目幅において明確な差があることが確認できた。敦煌文書料紙の糸目幅はおよそ 3.5～9 [cm]で広く、一方、奈良平安文書料紙の糸目幅はおよそ 1.5～4 [cm]で狭い。

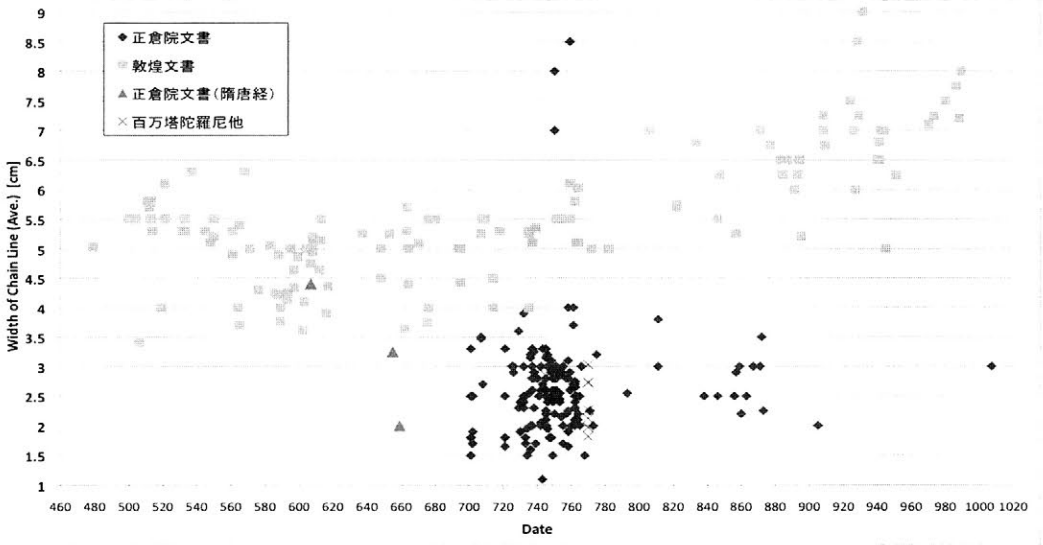


図.2 敦煌文書と奈良平安時代文書の糸目幅 (サンプル数:307 点)

5. まとめ

敦煌文書料紙の糸目の特徴を示し、次に奈良平安文書料紙との糸目幅を比較した。その結果、両者で明確な差があることを示した。敦煌文書の隋代から盛唐までの経典は長安のような中央で使用された紙も多く、糸目幅が 8 世紀の日本の紙と唐中央の紙の違いを示す指標の一つになるであろう。しかし、敦煌文書の紙はその産地が偏っている可能性があり、中国全体の紙を考えるには敦煌文書の分析だけではまだ情報が不足していると思われるので今後さらに調査を進めて行く必要がある。

参考文献

[1] 坂本昭二 他: 敦煌文書の科学分析, 2013 3rd International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia, p.23–26, 2013

[2] Shouji Sakamoto, Yoshihiro Okada: Paper Analysis and Paper History from Ancient Chinese Paper to Japanese Washi, The International Conference on Culture and Computing, 2013, p.51-56, 2013

[3] 杉本一樹 他: 紙(第2次)調査報告, 正倉院紀要, 第 32 号, 2010

[4] 正倉院事務所 (編集): 正倉院の紙, 日本経済新聞社, 1970

[5] 関義城: 手漉紙史の研究, 木耳社, 1976

化学組成によるサーサーン・ガラス容器の起源推定：可搬型蛍光X線分析装置による非破壊オンサイト研究

Provenance study of Sasanian glass vessels by chemical compositional analysis: nondestructive onsite investigation using portable X-ray fluorescence spectrometer

○阿部 善也（東理大・理），四角 隆二（岡山市立オリエント美術館），中井 泉（東理大・理）

○Yoshinari ABE (Tokyo University of Science), Ryuji SHIKAKU (Okayama Orient Museum), and Izumi NAKAI (Tokyo University of Science)

1. はじめに

本発表で扱うサーサーン・ガラスとは、サーサーン朝ペルシア（226–651年）の版図であったメソポタミア／イラン高原で製作されたガラス製品を指す。1950年代末のいわゆる「アムラシュ遺物」の発見により，サーサーン・ガラスに関する考古学的研究は飛躍的に進展した[1]。我が国においても，正倉院宝物の「白瑠璃碗」や伝安閑天皇陵出土の同形のガラス碗など，天平時代のガラス器の中にサーサーン・ガラスときわめてよく似た特徴を持つ資料が数点発見され，東西両洋の文化交流にガラスが重要な役割を持っていたことが実証された[1,2]。ところが，1960～70年代にイラン北部で盗掘が横行し，盗掘品が市場へと流通したことで世界各地の博物館にサーサーン・ガラスのコレクションが形成されたものの，伝イラン出土資料とメソポタミア出土資料の間には器種組成などの点で乖離が大きく，サーサーン・ガラスの実態把握に混乱が生じている。またサーサーン朝におけるガラスの成立・発展には地中海周辺地域のガラスの強い影響があり，器形や技法だけで両者を区別することは難しい[2]。こうした背景から，サーサーン・ガラスの起源は古代ガラス史研究における重要問題の一つとなっている。

イラクのヴェー・アルダシール（VA）は，学術的発掘調査が行われた数少ないサーサーン朝の遺跡の一つである。本遺跡から出土したサーサーン朝時代のガラス片に対し，近年になって破壊分析による詳細な化学組成分析が行われ，組成的特徴から3種類に大別できると報告された[3,4]。3種類の化学組成は使用された原料の違いに起因し，その起源を直接的に反映している。この報告はこれまで不鮮明であったサーサーン・ガラスの起源および実態の解明に際してきわめて重要であるものの，分析資料の大部分が型式学的特徴に乏しい破片だったために，サーサーン・ガラス最大の特徴とも言える容器類の装飾と関連付けた考察には至らなかった。

そこで本研究では，国内外の美術館・博物館に所蔵されたサーサーン・ガラス容器に対して可搬型の蛍光X線分析装置を用いた非破壊定量分析を行い，化学組成に基づき分類した。さらにその結果をVA出土ガラス片の分析結果と対比することで，装飾様式と関連付けて起源を考察した。また，我が国より出土した希少なサーサーン・ガラスへの応用として，新沢千塚古墳群（奈良県）出土の「円形切子ガラス括碗」の断片についても同様の分析を行い[5]，本研究および先行研究のサーサーン・ガラスの分析結果との比較から，その起源を検証した。

2. 実験方法

化学組成分析には，OURSTEX（株）製の可搬型蛍光X線分析装置OURSTEX 100FA-IILを用いた。本装置は検出器の窓材の改良と真空チャンバの接続により，同種の装置では分析困難なNaやMgといった軽元素の定量を可能としている。さらに励起X線の単色化機構を内蔵し，YやZrなどの微量重元素を高感度に検出できる。検量線法によってガラス中の全21元素の濃度を酸化物として定量した。測定は全て非破壊で行われた。

分析したサーサーン・ガラス容器資料は，国内外の美術館および博物館に所蔵された計41点（岡山市立オリエント美術館20点，平山郁夫シルクロード美術館8点，大原美術館4点，古代オリエント博物館4点，MIHO MUSEUM 1点，古代エジプト美術館2点，大英博物館2点）と，故小田幸子氏の化学分析[6]に伴い国立科学博物館に保管された新沢千塚出土の円形切子ガラス括碗の断片1点である。美術館資料は，装飾様式に基づき以下の6グループに分類した：円形切子装飾17点（厚手碗13点，台付杯2点，ビーカー1点，皿1点），浮出切子装飾4点（碗3点，舟形坏1点），突起装飾7点（薄手碗5点，厚手碗2点），二重円圏装飾3点（碗2点，破片1点），壺・瓶8点，他2点（アーケード状文台付杯，肋骨文多脚碗）。

3. 結果および考察

分析した 41 点の美術館所蔵サーサーン・ガラス容器は全て Mg および K に富み，融剤として植物灰が使用されていることがわかった。シリカ源由来の不純物元素（Al, Ti, Fe, Y, Zr）および植物灰由来の元素（Mg, K）に着目して化学組成の特性化を行ったところ，3 つの組成グループ（Group A, B, C）に分かれた。特性化に用いた図の例を **Fig. 1** に示した。Group A は不純物の多いシリカ源を原料として使用しており，ハッサニ・マハレ（イラン，デーラマン地方）出土ガラス碗[1]の類例である突起装飾薄手碗5点は全てこのグループに属した。このグループは，VA 出土ガラス片を用いた先行研究[3,4]中の組成タイプ Sasanian 1a に相当し，特に VA 出土のサーサーン朝初期（3〜4 世紀）のガラス片は全てこの組成タイプである。Group B は比較的不純物の少ないシリカ源を用いたガラスで，壺・瓶の大部分はこのグループとなった。このグループは先行研究[3,4]の Sasanian 1b と対応しており，Sasanian 1a（Group A）と同一の植物灰を用いたものであることが明らかとなっている[7]。Group C はきわめて不純物の少ないシリカ源と，前述の 2 グループとは異なる Mg に富む植物灰を原料とするガラスで，先行研究[3,4]における Sasanian 2 と対応する。本研究で分析した円形切子装飾を持つ 17 点のサーサーン・ガラス容器は，その器形（碗，杯など）を問わず全てこの Group C となった。この分析結果は，円形切子装飾を持つサーサーン・ガラス容器が，単一の工房ではないにせよ，同一のシリカ源と植物灰を入手できる程度の狭域で，あるいはその狭域内の一次工房で作られたガラス塊を利用できる程度の限定的な地域内で生産されていた可能性を示している。Group C と対応する Sasanian 2 は，イラク中央に位置する VA においては輸入品であった可能性が示唆されており[4]，正倉院宝物「白瑠璃碗」を始めとする円形切子装飾碗の起源を考える上で非常に興味深い。

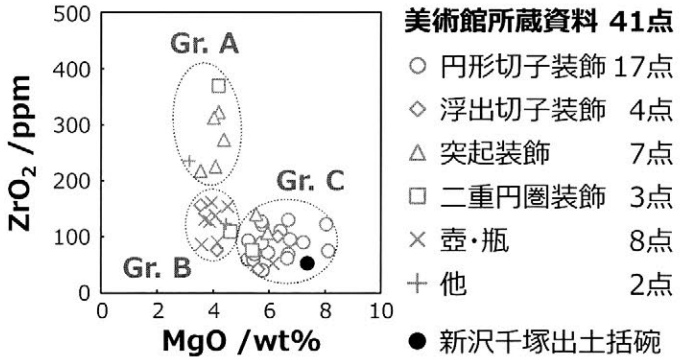


Fig.1 可搬型蛍光X線分析装置によるサーサーン・ガラス容器の化学組成の特性化例

新沢千塚出土の円形切子ガラス括碗については，先行研究[6]において植物灰を用いていることが指摘されていたが，本研究においてもこれを支持する結果が得られた。上述の美術館資料と同様に化学組成の特性化を行ったところ，他の円形切子装飾のサーサーン・ガラス容器と同じく Group C に分類された（**Fig. 1** 参照）。この結果は，はるばる日本まで伝来した個体まで含めて，円形切子装飾のサーサーン・ガラス容器が限定的な起源を有していた可能性を示唆すると共に，サーサーン朝の遺跡より出土したガラスと日本出土のガラス器との関連性を化学的に実証した初の成果でもある。日本国内で発見された他の資料を含め，今後出自の明確なサーサーン・ガラスの化学組成分析が進むことで，その起源の解明および編年構築が進展していくものと期待される。

【謝辞】

本研究を行うにあたり，貴重な資料を分析する機会を与えてくださった平山 美知子 館長（平山郁夫シルクロード美術館），高階 秀爾 館長（大原美術館），宮下 佐江子 氏（古代オリエント博物館），東 容子 氏（MIHO MUSEUM），菊川 匡 氏（古代エジプト美術館），Dr. St. John Simpson（大英博物館），若林 文高 氏（国立科学博物館）に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

1) 深井 晋司:『オリエント選書 12 ペルシアのガラス』東京新聞出版局 (1983).
2) 谷一 尚:『ものがかたる歴史 2 ガラスの考古学』第 2 版，同成社 (2007).
3) Mirti, P. *et al.*: *Archaeometry* **50**, 429–450 (2008).
4) Mirti, P. *et al.*: *Journal of Archaeological Science* **36**, 1061–1069 (2009).
5) 白瀧 絢子，中井 泉:『国立科学博物館研究報告 E 類：理工学』**34**, 61–71 (2011).
6) 小田 幸子:「新沢千塚 126 号墳出土のガラス器とガラス玉」『新沢千塚 126 号墳』(1977).
7) Ganio, M. *et al.*: *Journal of Archaeological Science* **40**, 4264–4270 (2013).

文化的景観の3次元写真測量による保護や保全に関する方法論
—京都府大山崎町所在宝積寺の九重石塔の事例から—
Methodology concerning protection and maintenance by three dimension photogrammetry of Cultural Landscape

○渡邊俊祐（同志社大学文化情報学研究科）、津村宏臣（同志社大学文化情報学部）、朽津信明（東京文化財研究所保存修復科学センター）、杉本裕二（同志社大学文化情報学部）

はじめに

近年のレーザーを用いた文化財の3次元アーカイブは、大量の点群から構成されるモデルにより精密な再現力を有している。一方、機材や作業の費用やアーカイブした点群の活用方法の面から対象物だけでなく調査者や機関を選ばざるを得ない傾向があり、文化財の汎用性ある3次元モデル化手法とは言えない。

本研究の目的は、津村(2005) が指摘した様に汎用性が高く質情報を析出できる写真由来の色彩情報を面に反映したモデルを生成する3次元写真測量を用いて、モノだけでなく空間としてのアーカイブを志向する。また、データを文化財保護や保全に活用するため、その運用方法論の基礎技術を確立することにある。

本研究では、京都府大山崎町所在の宝積寺に現存する九重石塔を対象として、①九重石塔の継続的モニタリングのために3次元写真計測と構造モデルの構築、②九重石塔成立と現状の資料調査、③モニタリング過程で発生した地震動(2013年4月13日発生淡路島地震)により文化財の3次元構造物に生じた変動量の計量的な評価について報告を行う。

3次元写真計測

2013年3月19日と5月14日に写真測量による調査を行った。1回目は、石塔の傾きの現状把握を目的とし、2回目は、4月に発生した淡路島を震源とする最大震度6弱の地震により石塔への影響があったのかについての確認を目的とした。現場での使用機材は、有効画素数 500 万画素以上のレリーズ対応カメラと一脚のみである。カメラは、費用対効果の高さから安価に購入可能な民生品のコンパクトデジタルカメラ（Pentax optio S1）を使用した。撮影枚数は、総枚数 300 枚で 1 段に付き 30 枚撮影した。この写真から 4896343 点を生成し、200 万面を構成する九重石塔の3次元モデルを作成した。また、対象物だけでな

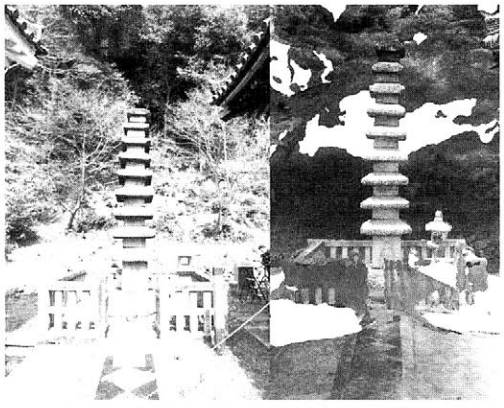


図 1　実物写真と3次元モデル

く、写真に写り込んでいる背景なども、画像を複数枚ラップして同時に生成し、対象までの距離に関わらず空間として均一な質モデルおよび構造モデルを生成した。

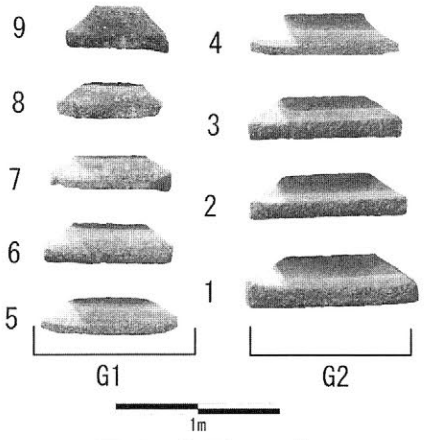


図 2　各層の形状

石塔各段の比較

３次元モデルを元に生成した、オルソ画像を各段ごとに分け、それぞれ形状の比較を行った(図２)。形状の摩耗(劣化)具合から最低でも２グループに分けることができると推測できる。摩耗の経度が相対的に大きいG1と小さいG2になるが、これは本来五重であった塔に後で四重を付け加えた可能性を示唆している。

地震による変量の有無の把握

淡路島付近で発生した地震では、大山崎町は震度３を記録した。倒壊も危惧されている石塔が地震により変形したかについて調査を行った。調査手法は、写真測量により生成した 3 次元モデル２回分を、基壇上面の形状に変化はないと仮定し、基壇と塔の傾きの関係性を３次元 CAD (RapidformXOR) により基壇の８点を基準とし比較した。面のメッシュ偏差量を視覚化したところ、南北方向では北向きに、東西方向では５段目を中心として反時計回りに変位していることが確認できた(図３)。さらに、上面から観察を行うと、９段目が基壇の重心上空にとどまっていることがわかった。視覚的には北側へ多く湾曲していると認識されていた石塔について、基壇や地面が南西側へ落ち込んでいることから、目の錯覚により大きく湾曲しているようにみえるという結論に至った。

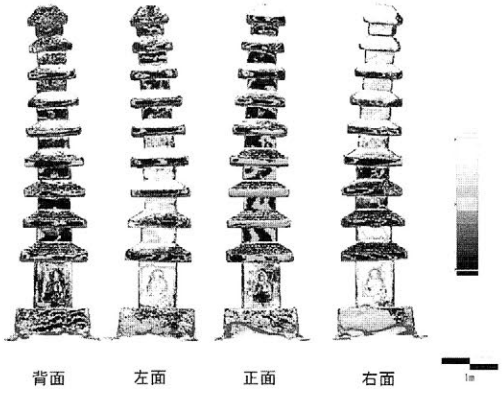


図 3　側面の変位量

まとめ

写真測量とそれによる３次元モデル化は、現状をアーカイブし、そのデータを蓄積することで、モニタリングの役目も小さくないことがわかる。こうした継続的計測が文化財の保存に重要な事は言うまでもないが、従来のレーザーによるモデル化では難しいことは先に指摘したとおりである。また、モデル化により写真では、わかりづらい空間的構造の定量評価に利点を見いだせる。

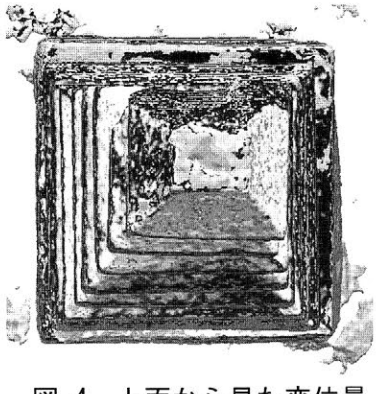


図 4　上面から見た変位量

参考文献

大山崎町史編纂委員会編　大山崎町史 1981 年

津村宏臣 デジタル写真測量技術を用いた文化財建造物の計測と劣化評価 2005 年 文化財保存修復学会誌 P86-99

藤ノ木古墳人骨ふたたび：南側被葬者は男性なり

Hujinoki-Kofun Human Skeletal Remains Revisited: The Southern Burial Should Have Been of Male

○片山　一道（京都大学・名誉教授、橿原考古学研究所・特別指導研究員）

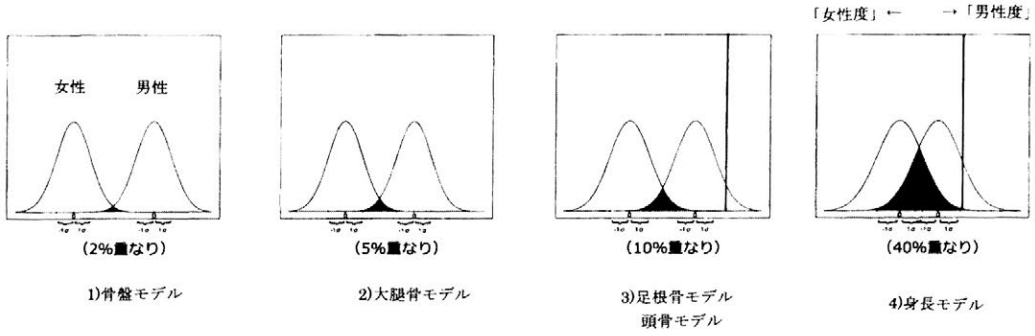
奈良県斑鳩町の藤ノ木古墳の石棺内で見つかった人骨について、その発見以来、四半世紀の時を経た近頃、あらためて人類学的分析を加え、ことに南側被葬者（１号人骨）の男性である可能性を確率論的に検討したので、その研究成果を報告する。この１号人骨については、ある考古学者から女性に特有の装身具を伴うとの反論がなされ（玉城、2008）、某新聞紙上で誤解に基づく報道がなされたので、それらに応えるため、公式報告（池田・片山、1993）を補足補強するために、あえて再検討したような次第である。

もとより人間の骨格（ことに骨盤、さらにそれに連動する下肢骨）では、直立二足歩行のたまもの、生物学的性差が顕著に認められる。それゆえ、たいていの成人骨では、たとえ残存状態がすぐれなくとも、性別判定が可能なケースは多い。だが、人間ひとり一人につき、生物学的な意味での女性らしさ（女性度）男性らしさ（男性度）は一様ではないから、性別判定には難易があり、ひとえに件の骨格の女性度（あるいは男性度）の強さに左右される。だから極端に保存が悪くても確実に性判別できる例は珍しくない。

藤ノ木古墳の石棺内では二人の人骨が発見された。そのうち、北側被葬者（２号人骨）は骨盤の断片が残り、それが男性的であることから、男性骨と容易に断定できた。しかるに南側被葬者の場合、ほぼ完璧に残る左右の足骨以外、ほかの骨は襤褸のごとき状態でしか残らなかったから、私どもの性判定に疑念を抱かれたのかもしれない。

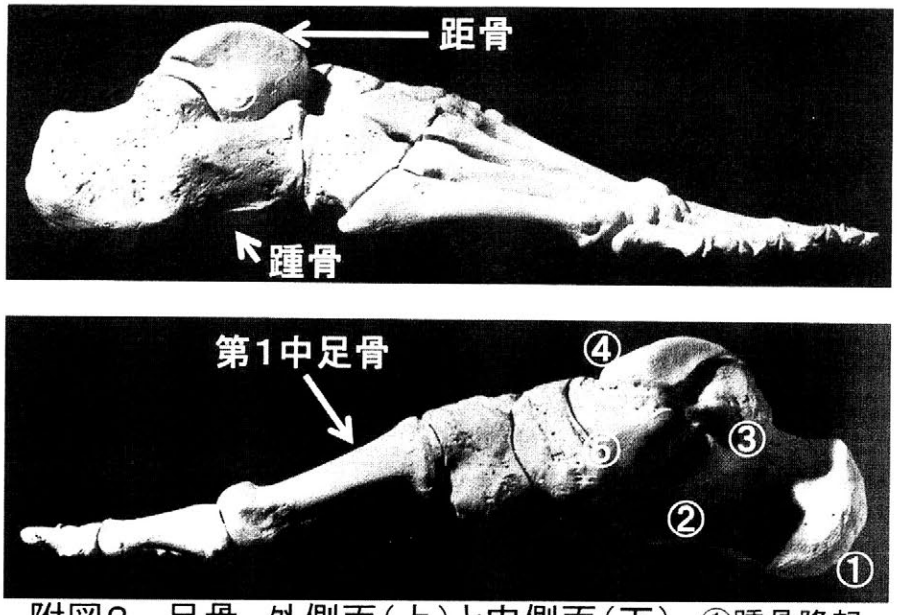
このたびの再検査に当たっては、「生物学的男性度」という分析概念を設定し、それを援用して、１号人骨の男性らしさを評価した。その結果、１）距骨と踵骨の関節面が大きく、筋付着部が発達し、骨組みが頑丈で凹凸のメリハリがあるなど、男性骨の特徴が強いこと、２）この両骨の大きさが当時の男性骨格の平均を凌駕すること、３）中足骨の最大長から推定する身長が 166.6±5.5ｃｍと大きいことなどを明らかにした。

これらの検査成績はいずれも、南側被葬者の「生物学的男性度」が非常に強く、北側被葬者ばかりか、高松塚古墳やマルコ山古墳の大柄な男性人骨にも遜色ないレベルの「生物学男性度」を示唆する。いずれにせよ南側被葬者の骨格は、男性のものである確率が非常に高く、「男性か女性か迷う骨格」でもなく、「男性のなかでも男性的な骨格」である。ともかく女性骨である可能性は絶望的にない。もはや、男性骨であると決着したと考えたい。さらに副次的にではあるが、両被葬者の身体特徴に共通項が目立つことが浮き彫りにされた。被葬者像を考えるうえで、さらなる注目を集めるべきだろう。



附図 1. 骨ごとの性別判定での有効性に関するモデル

(「男性度」と「女性度」が正規分布するよう模式的に表す。3)足根骨モデルと4)身長モデルにある太線は、南側被葬者骨（1号人骨）への査定値を表す)



附図2. 足骨、外側面(上)と内側面(下)。①踵骨隆起、②同上関節面、③同戴距突起、④距骨滑車、⑤距骨頭、⑥同外果面

X線CTによる十五郎穴横穴墓群出土鉄製品の調査

Investigation of iron objects from Jugoroana rock-cut tombs by the X-ray Computed Tomography

○稲田健一（ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社），栗田昌幸（ひたちなか市教育委員会），
高木寛之（日立製作所 電力システム社 日立事業所），髙妻洋成（奈良文化財研究所）
○ Kenichi　Inada（Foundation Hitachinaka Life,Culture,and Sports Public Corporation）
Masayuki Kurita（The board of education,Hitachinaka City），Hiroyuki　Takagi（Hitachi,Ltd. Power Systems Company Hitachi Works），Yohsei　Kohdzuma（Nara National Research Institute for Cultural Properties Center for Archaeological Operations）

1．十五郎穴横穴墓群について

十五郎穴横穴墓群は、茨城県ひたちなか市中根に位置し、那珂川支流の中丸川と本郷川から、樹枝状に伸びた谷によって形成された三つの台地の崖面に約1kmにわたって造られている。2013年度までに確認している横穴墓の基数は271基である。この他に埋没している横穴墓を含めると、400基以上の横穴墓があると推定される。

ひたちなか市教育委員会では、2007年度から十五郎穴横穴墓群の史跡整備に伴う調査を実施している。今回報告を行う遺物が出土した館出支群Ⅰ区第35号墓は、2010年度の試掘調査で新たに確認された横穴墓である。当横穴墓は、墓前域や羨道部は埋没していたが玄室内には土砂の流入がほとんどなく、そのため玄室内の遺物や人骨が埋没せずに埋葬時の状態で確認された。

2．館出支群Ⅰ区第35号墓の調査の概要

調査は2011年10月12日から2012年3月6日に実施した。

横穴墓の玄室構造は、天井形はドーム形で、平面形が逆台形、床面には当横穴墓群で唯一の「コの字」形の屍床がみられる。規模は奥行き2.46m、奥壁側幅3.28m、玄門側幅2.50m、高さ1.41mを測り、当横穴墓で最大規模となる。

遺物は墓前域と羨道部、玄室から出土した。墓前域および羨道部からは、須恵器の杯18点、高杯4点、盤16点、蓋17点、小型壺2点が出土した。時期は8世紀第4四半期頃のもので、その大半が水戸市の木葉下窯跡の製品と推定される。玄室からは、人骨や須恵器の杯、大刀、刀子、鉄鏃、鉄釘等が出土した。人骨は、頭蓋骨の数から7体分あるものと推測している。また、その中には火葬された人骨も含まれる。土器は杯1点のみが出土した。時期は9世紀第2四半期頃のものと考えられることから、羨道部出土の須恵器と約50年の時期差がある。よって、当横穴墓は土器の時期から推測すると約50年間使用されていたことになる。鉄製品は、大刀1口、刀子5口、鉄鏃約19点、鉄釘約144点である。鉄釘には木質がみられ、その観察から木製の櫃の存在が考えられる。

3．X線CTによる調査

（1）対象遺物

出土遺物の中で特に注目するものが大刀（I103）と刀子（I56）である。大刀は、全長53.8cmを測る。把の部分の形態から「蕨手刀」と呼称される大刀である。蕨手刀は、茨城県で2例目の出土となる。鞘部分には、台状双脚足金物等の刀装具を備えており、これに類似するものが正倉院に収められている。刀子は5口出土し、その中の1点が金銅製の金具を装着したI56である。全長は24.4cmを測る。帯執金具や鞘口金具、鞘尻金具が残っている良好な資料で、全ての金具がそろった状態での出土例は全国で初めてとなる。これに類似する刀子が正倉院北倉に収められている。

今回出土した大刀や刀子は正倉院のものと類似するものであり、非常に貴重な出土品である。そのため、保存処理前に詳細な情報を得る目的として、奈良文化財研究所と日立製作所の協力を得てX線CTによる調査を実施した。

（2）機材と方法

今回の調査では、最大エネルギー9MeVのX線を用いて鉄換算で厚さ320mmまでの検体が撮影可能な、非常に高い透過能力を備えた高エネルギーX線CT装置（HiXCT-9/6M-SP型）を使用した。この装置は、通常、工業製品の内部欠陥評価といった非破壊検査や形状計測等のデジタルエンジニアリング用途を目的として使用される場合が多いものである。今回のように埋蔵文化財に対して使用した場合には、その圧倒的な透過能力と直径800mm×高さ1000mmの視野を有することにより、発掘された状態に近い状態、例えば遺

物周囲を土砂等が覆っている状態でもCT撮影を行うことが可能となる。よって、遺物の精査や保存処理前の診断調査を非破壊で実施できることから、遺物の保護にも資するところが大きい。

本調査では、画素サイズ0.2mmの精細なCT画像が高速で得られる撮影モードを使用し、微細な検体形状を精巧に再現できるようスライス厚0.5mmかつスライス間ピッチを0.5mmに設定して撮影を行った。なお、検体の1つである大刀の長さが50cm超と大きなものであり、検体の長手方向を透過パスとしての撮影が不可能であったことから、検体を斜めに設置してCT撮影を行ったため、刀子も併せての撮影に要した時間は合計10時間程度となった。

撮影された各断面は画素数3000×3000の大きさで、1画素あたり16bitの階調を持ったCT画像に再構成演算された。つまり1断面あたり18MBの容量のCT画像が300枚以上、トータル5GB超で検体全体を構成する三次元データセットとなった。これを三次元画像処理ソフトVGStudio Max（独Volume Graphic社）を用いて、次のように三次元画像処理を行った。先ずは斜めに設置した検体をXYZ各断面画像が検体の軸と合致するようにアライメント処理を行った。次に密度情報に基づき色分けした解析結果をビットマップ形式に出力した。さらに、より精密な調査が可能となるように、調査者の意向を出来る限り反映したavi形式のムービーファイルも作成した。

（3）結果

今回の調査では、大刀と刀子の縦・横方向の断層画像や三次元画像、透過画像、素材別の画像といった様々な情報を得ることが出来た。図1はその成果の一部で、大刀と刀子の三次元画像、大刀の台状双脚足金物のCT断層画像、刀子の帯執金具単体の三次元の透過画像である。これらの情報から得られた結果は、以下のとおりである。

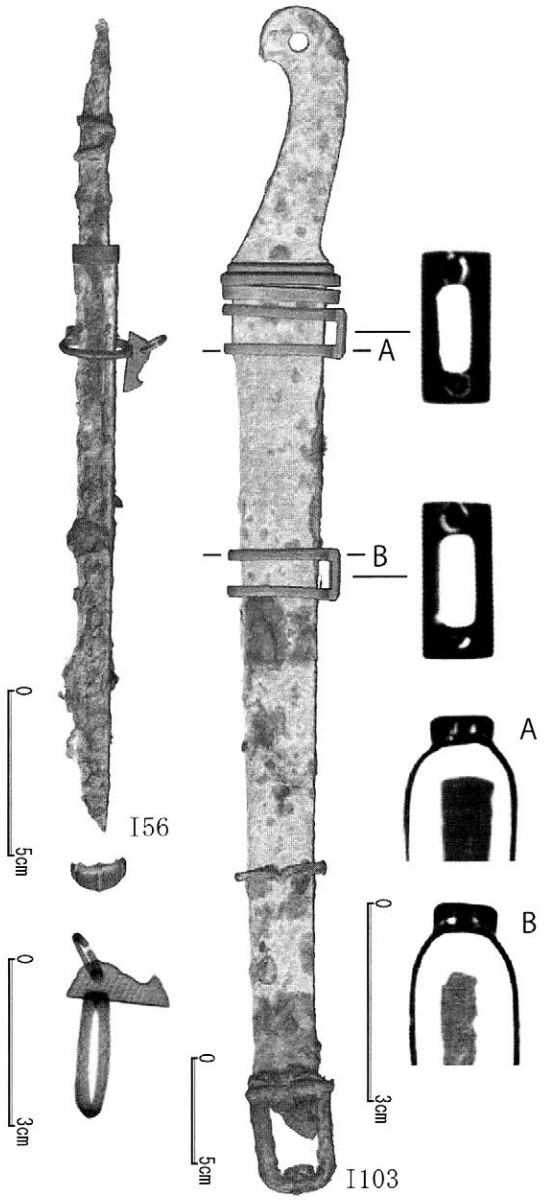


図1　CTによる三次元画像と断層画像

大刀については、錆等の付着物を取り除いた本来の形状が明らかになったとともに、刀身の残存状況が非常に良いことや、鞘に取り付けられている2つの台状双脚足金物が銅製で、柏葉の責金具と鞘尻金具が鉄製であることがわかった。また、台状双脚足金物では、断層画像から台と鐶は別造りで、接合に「鋲留め」の技法を用いていることが観察できた。鋲は直径約3mm、長さが約4mmの円柱状（図1A・B）で、素材は足金物と同じ銅製である。この鋲については、肉眼観察では全く確認できないため、今回の調査でこのような接合技法が判明したことは重要な事例となろう。

刀子については、刀身部の密度が薄く、残存状況がわるい。よって、今後の保存処理や実測の際に現状を維持することが困難な恐れがあるため、図1のように非接触で現状の状況を詳細に記録できたことは大きな成果である。また、現状では刀身から帯執金具を取り外すことが困難であるが、パソコン上では図1のように帯執金具を取り外して見ることができ、さらに透過画像によって帯執金具の山形金と鐶の装着方法を観察することも可能となった。

以上のように、調査の結果、鉄製品内部の残存状況や素材の種類を確認したほか、大刀において製作技法の一端が判明した。また、取得したデータは三次元画像として鑑賞できるため、展示施設での映像資料として展示が可能であり、さらに保存処理前の状態を復元したレプリカ制作にも利用可能な情報を得ることができた。

砂岩材の特徴に基づくプレア・ヴィヘア遺跡の建造順序の推定
Construction sequence of the Preah Vihear monument in Cambodia deduced from the characteristics of its sandstones

○内田悦生(早稲田大学)・溝口明則(名城大学)・佐藤広野(早稲田大学)・下田一太(筑波大学)
・渡辺亮太(早稲田大学)

1. はじめに

プレア・ヴィヘア遺跡はタイとカンボジアの国境地帯であるコラート高原南端部に位置する石造寺院(図1)であり、2008年にユネスコの世界文化遺産として登録されている。本研究の目的は、遺跡に使用されている石材の特徴に基づき、その建造順序を推定することである。

2. プレア・ヴィヘア遺跡の石材

プレア・ヴィヘア遺跡の建造には石英質砂岩(石英質アレナイト)が用いられている。この砂岩は、コラート高原を構成しており、ジュラ紀後期～白亜紀前期にかけて堆積した地層に由来する。アンコール遺跡の灰色～黄褐色砂岩は、この石英質砂岩の下に不整合をなして存在し、ジュラ紀前期～中期のものである。この石英質砂岩は、カンボジアにおいては「Grès Supérieurs 層」あるいは「Upper sandstones 層」と呼ばれている。

3. 調査方法

遺跡を構成する砂岩材の大きさ・帯磁率・化学組成等に基づき建造順序の推定を行った。

石材の大きさは、建造物壁面で測定し、その平均値を求めた。

帯磁率は、携帯型帯磁率計 SM30(ZH instruments)を用い、各箇所において50個の石材に対して測定を行い、その平均値を求めた。

化学組成に関しては、Innov-X Systems 社の携帯型蛍光 X 線分析装置 Delta Premium を用い、「Soil モード」にて測定を行った。測定時間は計1分とした。

これらの測定に加え、石材の層理面方向ならびに破風の形状の調査も実施した。

4. 調査結果と考察

調査結果(化学組成(Ti、Fe、Rb、Sr)、平均帯磁率、破風形式、石材の大きさ)を表1に示す。

4.1 帯磁率

プレア・ヴィヘア遺跡の砂岩の帯磁率は低く、各建物での平均帯磁率は $0.011～0.068\times10^{-3}$ SI unit の範囲にある。

宮殿(N2)中央部の石材が最も低い帯磁率(0.011×10^{-3} SI unit)を示している。それに対し、マンダパ(C)の帯磁率が最も高く(0.068×10^{-3} SI unit)、その北側に並ぶゴープラ I(G)、身廊(J)、ゴープラ II(L)およびゴープラ III(P)も高い帯磁率(0.049～0.067×10^{-3} SI unit)を示している。それ以外の箇所の砂岩はこれらの間の帯磁率を示している。

表1 プレア・ヴィヘア遺跡の砂岩材の特徴と破風の形状

時期	建物	Ti (ppm)	Fe (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	MS*(×10⁻³ SI units)	破風形式	石材大きさ
第1期(バケン期)	宮殿(N2)中央、上部構造	1100	11800	24	14	0.011		小
	宮殿(N2)中央、基壇	1100	10000	21	14	0.015		小
	宮殿(N2)東側、上部基壇	1060	9500	30	16	0.018		小
	宮殿(N2)西側、基壇	1070	11800	20	14	0.014		小
第2期(クレアン期)	宮殿(N1)	1510	10600	33	20	0.047	満巻、材	中
	宮殿(N2)東側、上部構造	1240	11500	44	19	0.042	満巻、材	中
	宮殿(N2)東側、上部基壇	1360	11600	41	19	-		中
	宮殿(O2)	1430	11400	42	19	0.043	満巻、材	中
	回廊II(K2)基壇	1260	12400	36	21	0.041		中
第3期(クレアン期)	宮殿(N2)西側、上部構造	1000	8300	24	14	0.045	満巻、材	中
	宮殿(O1)	970	8600	27	25	0.030	満巻、材	中
	ゴープラV(W)	800	8200	25	15	0.024	満巻、材	大
	回廊II(K2)上部構造	870	8900	22	19	0.025	満巻、材	中
第4期(クレアン期末期～バフーオン期)	ゴープラIII(P)	1360	15800	42	23	0.055	満巻、材	大
	ゴープラII(L)	1370	11800	40	19	0.057	満巻、材	中
	回廊II(K1)	1420	12400	43	20	0.052	満巻、材	中
	身廊(J)	1460	12500	40	27	0.067	満巻、材	中
	ゴープラI(G)	1480	11000	37	24	0.049	満巻、材	中
	マンダパ(C)	1330	11100	42	21	0.068	多頭ナーガ	中
第5期(バフーオン期～アンコールワット下期)	西側建物(E)	1100	8900	25	16	0.031	満巻、材	小**
	東側建物(F)	1140	9200	27	18	0.042	満巻、材	大
	ゴープラIV(T)	1060	10500	29	15	0.032	多頭ナーガ	大
	経蔵(H1)	1270	9200	32	58	0.020	多頭ナーガ	中
	経蔵(H2)	1100	8400	24	56	0.019	多頭ナーガ	中
	疑似ゴープラ(A)	1140	7600	18	28	0.022	多頭ナーガ	大
	中央祠堂(B)	1230	9300	27	17	0.034		大
	回廊I(D)東側	1360	11100	33	30	0.033	多頭ナーガ	中**
	回廊I(D)西側	1000	8300	20	28	0.027	多頭ナーガ	大
	周壁(Z1)	1180	11600	33	17	0.037	無し	大
	周壁(Z2)	1330	8100	28	15	0.024	無し	大
	塔(Q)	1310	11400	32	22	0.036	無し	大

*MS:帯磁率
** 大型石材も使用

#

4.2 石材の大きさ

宮殿 (N2)中央部は、プレア・ヴィヘア遺跡の中で最も小さな石材が使用されている。それに対し、中央祠堂 (B)、疑似ゴープラ (A)、東側建物 (F)、ゴープラ IV (T)、回廊 I (D)の一部および西側建物 (E)の一部では大きな石材が使用されている。それ以外の場所の石材は、これらの間の大きさとなっている。

4.3 化学組成

系統的な違いが認められた元素は Ti、Fe、Rb、Sr の 4 元素であった。

Ti は、800～1510ppm の範囲を示す。宮殿 (N1、O2)、ゴープラ III (P)、ゴープラ I (G)、身廊 (J)、ゴープラ II (L)、回廊 II (K1)およびマンダパ (C)において高い値を示している。それに対し、宮殿(O1)、回廊 II (K2)およびゴープラ V (W)において値が低くなっている。

Fe は 7600～15800ppm の範囲、Rb は 18～44ppm の範囲にあり、Fe および Rb 関しても Ti と同様な傾向が見られる。

Sr に関しては 14～58ppm の範囲の値を示している。経蔵 (H1、H2)は他の箇所と比べて特徴的に高い Sr 含有量(58、56ppm)を示しているが、他の箇所は 30ppm 以下である。

4.4 層理面方向

宮殿(N2)中央部では、縦層理をもつ石材の割合が高く、54%に達している。また、宮殿 (N、O)の他の箇所の基壇にも正方形の断面を示す石材が多くみられ、およそ半数が縦層理を示している。また、ゴープラ V (W)およびゴープラ IV (T)の基壇にも正方形に近い砂岩材が使用されており、縦層理を示すものが半数近くに達している。

疑似ゴープラ (A)、回廊 I (D)および東側建物 (F)の大きな砂岩材では、水平層理が一般的である。これら以外の建物では、横長材が多く、このような石材では水平層理が一般的であるが、正方形の断面を呈する砂岩材では、縦層理を示すものが少なからず見られる。

4.5 破風の形状

破風の先端の形状は、(i)一材渦巻型 、(ii)二材渦巻型 、(iii)多頭ナーガ の 3 つに分けられ、大局的にはこの順に建造されたと推測される。

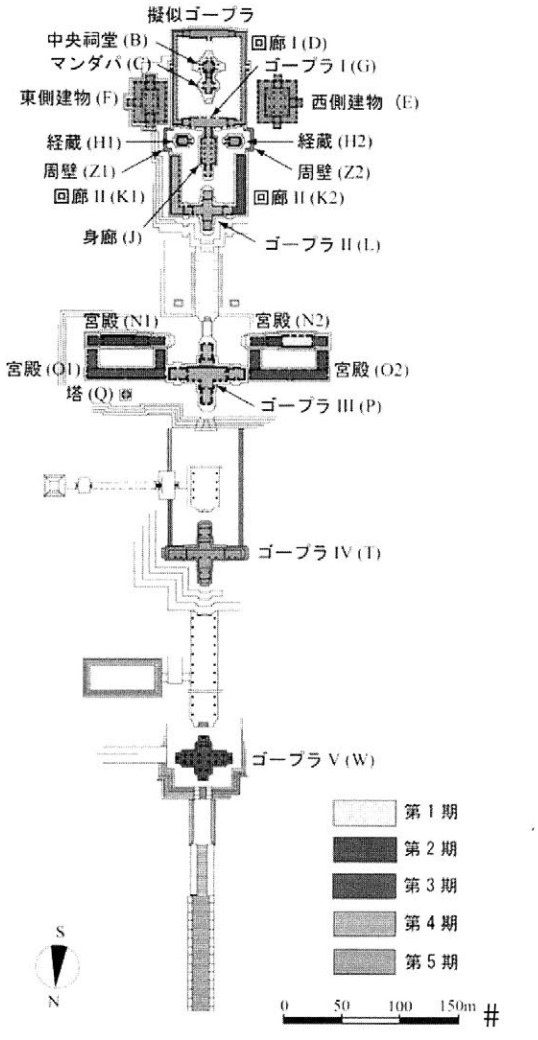


図 1 プレア・ヴィヘア遺跡の平面図(**Roveda, 2000**)と各建物の名称および記号

5. 建造時期と順序の推定

上記の調査結果と碑文の情報から、プレア・ヴィヘア遺跡の建造順序・時期は、下記のように推定される。

1st stage バケン期 :宮殿 (N2)中央部

2nd stage クレアン期:宮殿 (N2)東側、宮殿 (N1) (1026 年頃完成)、宮殿 (O2)

3rd stage クレアン期:宮殿(N2)西側、宮殿 (O1)、回廊 II (K2)、ゴープラ V (W)

4th stage クレアン期末期～バプーオン期:ゴープラ III (P)、ゴープラ II (L)(1049 年頃完成)、回廊 II (K1)、身廊 (J)、ゴープラ I (G)、マンダパ (C)

5th stage バプーオン期～アンコール・ワット期:西側建物 (E)、東側建物 (F)、ゴープラ IV (T)、経蔵 (H1、H2)、疑似ゴープラ (A)、中央祠堂 (B)、回廊 I (D)、周壁(Z1,Z2)、塔 (Q)

武具の変遷と防御性の検証実験(2)

History of ancient Japanese armor, and verification test of the defensive (2)

○塚本敏夫　小村眞理　初村武寛　田中由理(公益財団法人元興寺文化財研究所)

1. はじめに

小札甲は日本列島には5世紀中葉に短甲に替わる新式の武具として新たに導入され、6世紀以降の武具の主流となる。小札甲の変遷は8世紀中葉に札幅が最も細くなり、防御性に優れ、精巧を極めるが、その後札幅が大きくなり省力化が進む。小札甲の大きな変換があったのは律令期(8世紀)である。文献史の研究から宝亀11年(780年)には勅命で鉄甲から革甲への生産転換が定められた。この背景には、鉄資源の確保・加工に保守管理が大変であるのに対して、革甲は堅固で、矢に当たっても貫きにくく、軽くて長持ちして、生産が簡単との理由が挙げられている。しかし、堅固で矢にあったっても貫きにくいとの記述はそのまま肯定することができない。そこで、本報告では文献の記述が正しいのか、実際に革甲と旧来の鉄甲(組紐縅と革縅)の復元モデルを矢で射ぬく、堅固性の検証実験を行ったので、その結果の一部を報告する。

2. 復元モデルの選定と復元仕様

2-1. 甲の復元モデルの選定と復元仕様

復元モデル　4水準の甲モデルを選定した。①宮山古墳出土短甲(5世紀)②今城塚古墳出土小札甲(6世紀)③東大寺金堂跡出土小札甲(8世紀)④革小札甲(小札規格は藤ノ木古墳出土小札をモデルとした。)

復元仕様　素材の鉄板は条件を揃えるため、材質はSS400、厚み1mmを使用した。革小札は現在の大鎧製作に使用する厚み1.5mm～2mmの牛革を使用した。①は15cm×15cmの板のみ、②は小札45mm×16mmを1列18枚×4段で革紐で綴、縅を行った。③は小札95mm×10mmを1列24枚×2段、革紐で綴を組紐で縅を行った。④は小札74mm×23mmを1列8枚×3段で革紐で綴、縅を行った。

2-2. 矢の復元モデルの選定と復元仕様

復元モデル　3水準の矢モデルを選定した。①豊中大塚古墳出土短頸鏃(5世紀)②今城塚古墳出土柳刃長頸鏃(6世紀)③平城宮出土長頸鏃(8世紀)

復元仕様　素材の鉄素材は条件を揃えるため、材質はSS400を使用し、焼入れは行わなかった。鉄鏃の規格(鏃身長×最大刃幅)は①は46mm×17.5mm、②は113.5mm×11mm、③は87.5mm×5.5mm。矢の全長は800mm、矢柄は篠竹製の3枚羽に統一した。

3. 武具の防御性の検証実験(1)-前回実験(塚本他2013)

3-1 重力落下試験

試験の方法　エネルギーをできるだけ一定にするために、試験的に重力落下試験を行った。落下地点に畳を敷き、4水準の甲モデルを固定して、当研究所3階屋上(高さ12m)から3水準の矢を自然落下させた。

試験結果　高さ不足で全ての甲モデルで貫通しなかった。しかし、①の短甲モデルの鉄板では凹んだ深さが若干異なっており、矢モデルで③＞②＞①順の深さであった。やはり、刃部の 面圧の違いであろう。

3-2. 弓で矢を射る貫通試験

試験の方法　的に4水準の甲モデルを固定して5mの近距離から、弓(弓道用のグラス製・並寸・12k)を使い、同じ射手で貫通試験を行った。矢は落下試験で最も貫通力が高い結果を得た矢モデル③を使用した。

試験結果　①は貫通した。②縅革は貫通したが、鉄小札は若干凹んだだけだった。③は組紐部をすり抜け、鉄小札の横綴革紐付近に当たって革綴が若干切れたが、鉄小札は無傷であった。④は最下段の革縅紐から革小札まで貫通したが、2段目の二枚重部の革綴紐は切れ、革小札に傷は付いたが貫通はしなかった。

この実験結果では武具の防御性は甲モデルで③＞②＞④＞①という結果になった。

4. 武具の防御性の検証実験(2)

今回、エネルギーをできるだけ一定にするために、クロスボウで矢を射る貫通試験を行った(写真-1)。

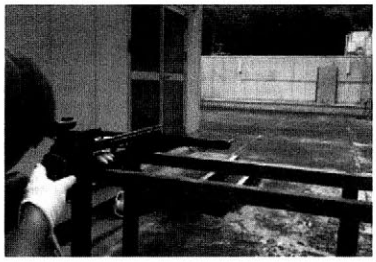


写真-1 クロスボウでの貫通試験

4-1 クロスボウで矢を射る貫通試験

試験の方法

的に 4 水準の甲モデルを固定して、18.5mの中距離から、エネルギーをできるだけ一定にするためにクロスボウ(ManKung 社製 クロスボー200A1 150 ポンド)で貫通試験を行った。矢はクロスボウ専用のアルミ矢 16 インチ 150 ポンド用を使用した。

試験結果(図-1)

①は完全に貫通した。②縅革は切れ、横綴じの革紐がスラスト荷重で切断された。鉄小札は 1 枚目は貫通し、大きく曲がったが、2 枚目は貫通せず、凹んで曲がった。③は組紐部をすり抜け、横綴じの革紐がスラスト荷重で切断された。鉄小札は 1 枚目は貫通し、大きく曲がったが、2 枚目は貫通せず、凹んで曲がった。④は最下段の革縅紐から 1 段目の革小札まで貫通したが、2 段目は先端部分の小さな穴は空いたが貫通はしなかった。また、鉄小札に較べて大きな曲がりは生じなかった。この実験結果では防御性は甲モデルで③≧② ＞ ④＞①という結果になった。また、鉄製小札甲では横綴の強度が重要であることが判明し、横綴を組紐で行った場合を水準に加えるべきことが判明した。

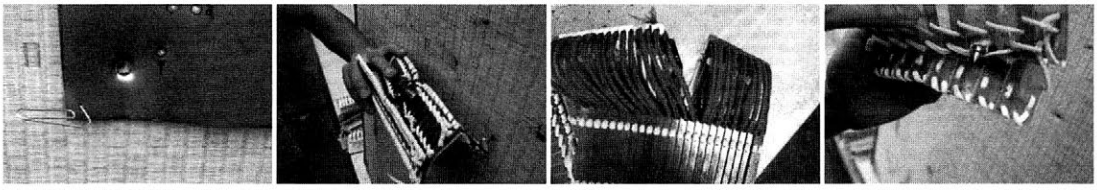


図-1 クロスボウでの貫通試験結果 (左から甲モデル①, ②, ③, ④)

4-2 出土遺物での比較検討

小札に残る"矢傷"の痕跡と指摘されてきた王墓山古墳出土品(善通寺市教育委員会 1992)を今回の試験結果と比較しながら再調査した結果、痕跡が酷使していることと、従来の指摘以外にも多様な傷痕跡があることが判明した(初村他 2014)。小札の傷痕跡は初村分類の痕跡 1,2 は矢で小札を貫いた痕跡と推定でき(図-2)、痕跡 3 は線的な圧痕であり、今後は鉄鏃以外の刀剣類での検証試験も視野に入れるべきであろう。

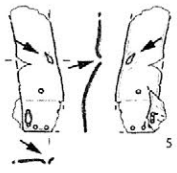


図-2 痕跡 1 の小札
(王墓山古墳出土)

5. おわりに

今回の実験で不十分ながら鉄製短甲より、鉄製小札甲が堅固性に優れていること。また、革小札甲も鉄製短甲より防御性が高く、鉄製小札甲に劣るとも劣らないことが判明した。このことは文献史の記述を、ある程度肯定する結果となった。しかし、今回の革小札では漆を塗っていなかった。また、今回の実験では革紐は全て貫通していたが、組紐は切れなかった。装飾性だけと思われていた組紐も防御性が高い素材であった可能性が見えてきた。現在、比較水準に①革小札の漆の有無と②革紐と組紐での違いを加えて有意差が出るのか実験準備中であり、今後は刀剣での実験についても視野に入れて探究していきたい。

(本稿は科学研究費補助金 基盤研究(C)24520878「東アジアにおける小札甲の受容と展開-日本古代の甲冑を中心として一」研究代表者塚本敏夫)

参考文献

善通寺市教育委員会 1992『史跡有岡古墳群(王墓山古墳)保存整備事業報告書』善通寺市教育委員会
塚本敏夫他 2013「武具の変遷と防御性の検証実験」『東アジア文化遺産保存学会第 3 会研討会論文摘要集』pp262-263
初村武寛・土屋隆史・杉本和江 2014「「王墓山古墳出土武具の研究」『香川考古 第 13 号』 香川考古刊行会 pp 1-51

甲冑絹、中尊寺絹、補修用絹のヘリウムイオン顕微鏡観察

Observation of Silk Materials Used in Armors, Chusonji Temple, and Restoration via Helium Ion Microscope

中條利一郎　（(元) 東京工業大学)
Riichiro CHUJO ((Former) Tokyo Institute of Technology)

1　はじめに

甲冑絹[1)]、中尊寺絹[2)]、補修用絹[3)]はいずれも演者により研究を進めて来た絹である。それぞれ、有用な情報が得られているが、今回はそれらの表面の劣化状態に関する情報を得るため、ヘリウムイオン顕微鏡による観察を行う。表面の観察に広く用いられているのは走査型電子顕微鏡（SEM）である。電子をイオンに変えれば、焦点深度が大きくなり、焦点を合わせにくい実験では、空間分解能が向上する。このアイデアは半世紀以上前にMuller[4)]によって提案され、コンピューターによる画像化が考えられなかった時代に結果の画像化まで行われている。それがヘリウムイオンを用いる装置が実用化され、市販されるまでになったので、それを用いて観察した結果を報告する。なお、有機材料のSEMによる観察で必須だった帯電防止剤も電子銃の使用により不要となったことを付言しておく。

2　装　置

用いた装置は文部科学省ナノテクノロジープラットフォームで（独）物質・材料研究機構に設置されたZeiss社製ORION Plusである。

3　結　果

ア　甲冑絹（AHシリーズ）

甲冑の小札（こざね）などを繋ぐのに用いられていた絹の観察結果である。平安時代から江戸時代までの18点の試料を所持しており、長期にわたる経年劣化を見るのに好都合である。それらの内、8点の観察結果について報告する。各試料の保存状態に関する情報がないので、保存状態にちがいはないとの作業仮説のもとで考察を進める。測定した8検体の内、最も古い時代のものであるAH02 櫨匂糸縅鎧（平安時代、12世紀）のものの表面が鱗状になっているのが顕著に見られる。発表時間の制約のため、もう1点、AH14 色々縅腰巻（江戸時代、17~19 世紀）のものだけをご覧に入れるが、平安時代のものだけが表面の鱗状が顕著であり、それ以降のものと異なる。既に報告してある通り、スピン格子緩和時間の測定値に揺動散逸定理を援用して求めた $\tan\delta$ の値などには製造年代によるちがいは殆どない。バルクの物性にちがいはなくても、表面の劣化は経年により進んでいるようである。

イ　中尊寺絹（CK シリーズ）

中尊寺（平泉町、世界遺産）の金色堂は三つの部分に分かれており、それぞれの床下に遺体が安置されている。藤原清衡（1128 年没）、基衡（1157 年頃没）、秀衡（1187 年没）のものである。着衣は絹で出来ており、スピン格子緩和時間の測定値から、基衡棺のものが品質的に劣る。これは基衡の没年の頃、気温が低かった（蚕の生育にとって条件が悪い）とする年輪考古学のデータで説明される[2)]。前項で時間とともに劣化すると仮定したが、仔細に見ると、一様に劣化している訳ではない。清衡棺で使われていた絹（CK11）では繊が比較的保存されている（秀衡棺（CK31））も同様）のに対し、基衡棺のもの（CK21）はかなり崩れている。分かったことはそれだけで、これが絹の品質の良否を反映しているかどうかは不明である。

ウ　補修用絹（BI シリーズ）

劣化した絹製品の補修には絹の裏打ちが施される。その際、新鮮な絹を使用すると、古い方の絹に応力が集中し、かえって劣化を促進する。そこで、何らかの方法で劣化させた絹を用いる。その一つが電子線照射により劣化させた絹である。今回使用したのは、平安時代末期から鎌倉時代の仏画の修復用の

タテ 21 中 70 枚ヨコ 21 中×2 120

である。未照射試料（BI00）ではその様子がはっきりわかる。これに電子線照射すると、ケロイド状にただれた表面が観察される。一例として、BI06（1800kGy 照射）のものをご覧に入れる。前回[3)]は繊維に垂直に罅割れが生じ、その数、深さなどで定量しようとしたが、それが出来ない。現在、その理由を明らかにすべく、次の実験を計画中である。

文　献

1）中條利一郎、齊藤昌子、中村亜矢、谷田部純、考古学と自然科学、60, 29 (2010)
2）R. Chujo, K. Fukutani, and Y. Magoshi, “NMR Spectroscopy of Polymers in Solution and in the Solid State”, p.83 (2003, American Chemical Society)
3）中條利一郎、井上嘉、岡岩太郎、第 19 回文化財保存修復学会講演要旨集、p. 32 (1997)
4）E. W. Muller, Z. f. Physik, 131, 136 (1951)
5）大西桂子、顕微鏡、48、154 (2013)

謝　辞

ヘリウムイオン顕微鏡の測定で便宜をはかって頂いた大西桂子さん、永野聖子さん（物質・材料研究機構）、甲冑絹の便宜をはかって頂いた齊藤昌子名誉教授（共立女子大）、西岡文夫氏（甲冑師）、中尊寺絹で便宜をはかって頂いた川野邊渉センター長、佐野千絵室長（東文研）、補修用絹で便宜をはかって頂いた早川典子博士（東文研）、岡泰央氏（岡墨光堂）に、それぞれ、感謝します。

有機赤色彩色材料としてのラックレジン：古代における臙脂赤の再考

Lac resin as an organic red colourant in Ancient and Medieval Asia

○谷口陽子（筑波大学）、北川美穂（工藝素材研究所）、室伏麻衣（東京藝術大学）、楊傑（亀茲研究院）、島津美子（国立歴史民俗博物館）、佐藤一郎（東京芸術大学／金沢美術工芸大学）

○Yoko Taniguchi[1], Miho Kitagawa[2], Mai Murofushi[3], Yang Jie[4] , Yoshiko Shimadzu[5], Ichiro Sato[3, 6]

[1]University of Tsukuba, [2]Craft Material Research Centre, [3]Tokyo University of the Arts, [4]Kizil Research Institute, [5]National Museum of Japanese History, [6]Kanazawa College of Art

はじめに

発表者らの現地調査から、キジル千仏洞、アジャンター石窟など壁画の彩色の中に、紫外線励起によりピンク～オレンジ色の蛍光反応を呈する赤色半透明（プラム色）の彩色材料が確認されている。この赤色は、厚み、光沢がある塗膜状のものである。キジル千仏洞の場合には、塗膜がまくれ、石膏下地ごと亀裂を生じている（図1）。近年、類似した有機赤色は、臙脂赤としてラッカイン酸の赤色色素成分との類似性が指摘されているが、それだけでは紫外線励起による蛍光強度が低いだけでなく、厚み、光沢といった特徴を再現することができない。そこで、本研究では、蛍光を生じる樹脂分あるいはロウ成分が含まれた状態で存在しているのではないかと想定し、インド、イラン等に残る彩色材料や医薬品に関する古典技法書を参考に、スティックラックとホウ砂（ホウ酸ナトリウム）を用い、樹脂分と水溶性の色素分両方を含む赤色色材の再現を試みることとした。得られた赤色塗膜については、光学的記録法および分光分析によって比較検討を行った。

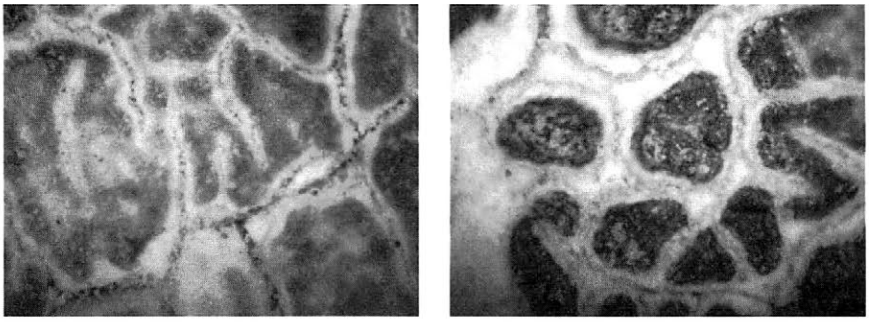


図1　キジル千仏洞224窟東壁、南壁の赤色部分の実体顕微鏡像（x 60）

ラックレジンの赤色について

スティックラックはアルカリ性溶液に可溶で、82～83℃が軟化点である。その性質を利用して、古代インドやイランには、ホウ砂をアルカリとしたインディアンワニス、ラックワニス、インディアンインク等の名称を持つ赤色透明物質が知られる（Gupta 2006; Field 1841 など）。天然アルカリとして、中央アジアではホウ砂や多種の鹹水が多く産出し、歴史的に主要な交易物資として知られている（Laufer 1919 など）。ホウ砂と鹹水は、用語が誤用されていた可能性もあると想定し、両方を用いて再現を行うこととした。ホウ酸ナトリウム 5 wt%水溶液は pH10、鹹水のうち 1 種（内モンゴル産：炭酸ナトリウム）5wt%水溶液は pH11 であった。スティックラックは、カイガラムシの種類、母樹の違いによって黄色～黒褐色と異なる。今回は、赤色発色が良好であることが知られているタイ産ランギーニ種のラック（母樹はハナモツヤクノキあるいはアメリカムネノキ）を用いた。砕いたスティックラックをアルカリ水溶液に入れ、90℃以下で熱し、

撹拌後、夾雑物の濾過を行った。ラックレジンを各種下地に塗布したところ、乾燥につれまくれ上がりの強い赤色塗膜が得られた。膠着材なしの石膏下地は、塗膜とともに亀裂を生じた。

分光測定には、プローブ型ポータブル分光反射率計 Jaz-combo(オーシャンフォオトニクス社製)を用いた。グレーティング 200-900nm、スリット幅 100μm、光学分解能 3.8 nm、光源モジュールは、可視-近赤外は内臓のタングステンハロゲン(場合により、外付けのタングステンハロゲン Mikropak Halogen light source HL-2000-FHSA)、紫外励起は内臓の UV365nmLED を用いた。反射プローブは R400-7-UV/VIS 400μm φ である。

結果および考察

[可視領域]ラックレジン(ホウ砂)は、ラック色素と同様の 640nm 付近に極大のある反射スペクトルを示した。一方で、ラックレジン(鹹水)は、500nm 付近に別の反射があり、やや青みがある傾向を示した(図2)。

[紫外線励起可視領域]ラックレジンには 640nm に極大があるが、ラックレジン(鹹水)については、540nm 付近にも別の反射がみられた(図3)。

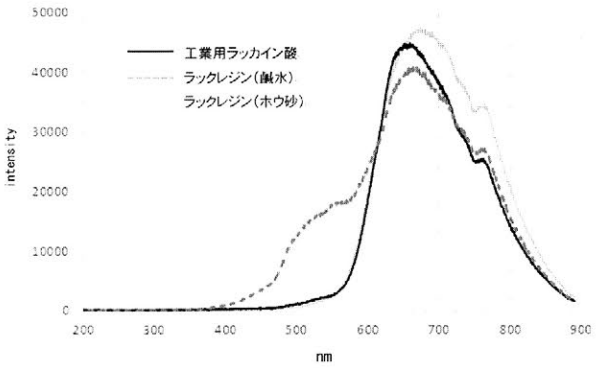


図2　可視領域の反射スペクトル

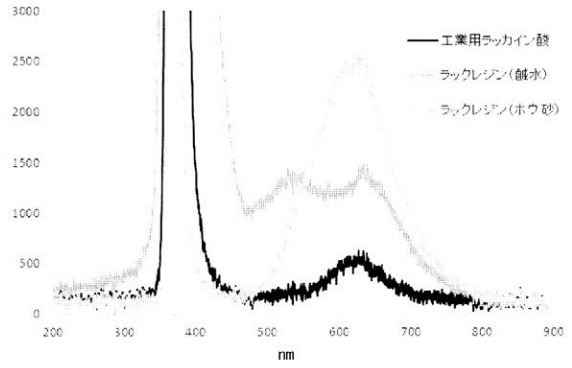


図3 紫外線励起可視蛍光の反射スペクトル

一連の実験から、軟化時の温度、アルカリ処理時の pH、塗布時の下地の pH(石膏、石灰、白土など)等の各種の要因により、可視光領域や紫外線励起による蛍光の色調は大きく変化することが確認された。一方で、アジャンター第2窟で同様の紫外線励起蛍光を生じる赤色部分の試料を FTIR により分析したところ、今回作成したラックレジン(ホウ砂)と類似したスペクトルを得ている(島津他 2014)。つまり、HPLC、GC/MS や FTIR といった微試料を用いた分析手法を使用することによって色材同定が可能となるが、今回のような非接触な光学的手法のみでは限界がある。ここで再現を行った赤色色材は、中央アジアや東、南アジアに広く利用されてきた可能性がある。従来の臙脂赤の利用に関する認識より、さらに広い技法や材料の伝播を想定せざるを得ず、新たな視座を与える可能性があると考える。

[付記]

本調査は、科学研究費助成事業、新学術領域研究(研究領域提案型)「西アジア文化遺産の材質と保存状態に関する自然科学的な研究」(代表:谷口陽子)、および基盤研究(B)「シルクロード・キジル石窟壁画の絵画材料・絵画技術の研究」(代表:佐藤一郎)の成果を含むものである。なお、岐阜セラツク製造所(株)水谷均氏から貴重な試料提供、ご助言をいただいた。感謝申し上げます。

[参考文献]

Gupta, K.K., 2006. *Restoration of Indian Miniature Paintings*, Northern Book Centre.

Field, G., 1841. *Chromatography; Or, A Treatise on Colours and Pigments: And of Their Powers in Painting*, Tilt and Bogue.

Laufer, B., 1919. *Sino-Iranica: Chinese contributions to the history of civilization in ancient Iran, with special reference to the history of cultivated plants and products*, Field Museum of Natural History.

島津美子、谷口陽子、山内和也(2014)「アジャンター仏教寺院遺跡第2窟にみられる赤色の有機質色材に関する調査」『文化財保存修復学会第36回大会研究発表要旨集』238－239.

常陸の前期古墳出土のガラス小玉の化学的組成と製作技法

Chemical compositions and manufacturing techniques of the glass beads from the Hitachi region tumuli (first half of the Kofun perio

○ 加藤千里(筑波大・院), 澤村大地(東理大・院), 中井泉(東理大)
滝沢誠(筑波大), 谷口陽子(筑波大)

○ Chisato Kato[1], Daichi Sawamura[2], Izumi Nakai[2], Makoto Takizawa[1], Yoko Taniguchi[1]
([1] University of Tsukuba, [2] Tokyo University of Science)

1. はじめに

ガラス製の玉類は、日本列島においては弥生時代前期末から奈良時代にかけて、主に副葬品として各地で大量の出土が確認されている遺物である。近年、特に化学的手法を用いた研究が増加したことから、ガラス製品に関する新知見が得られつつあり、古墳出土ガラス玉の多くは、アジア地域を舞台とする交流・交易の実態を示す列島外からの搬入品であるということが示唆されるようになった(肥塚他: 2010)。化学的手法から得られる化学組成データを踏まえて製作技法の点から再度検討することにより、ガラス製玉類の分類、分布や生産状況、流通に関する知見が得られ、さらには、弥生時代から古墳時代における社会の様相、列島外の地域との対外交流、域内交流のあり方の一面を明らかにできる可能性がある。また、ガラス玉の出土状況の地域差の比較の為には、地域ごとの調査・検討が必要である。本研究では、常陸における前期古墳出土品を中心としたガラス小玉を対象として、蛍光X線分析(XRF)による化学組成分析と古墳ごとの比較を行った。また、資料の形態観察に基づき製作技法を推定し、両観点から本地域における古墳時代におけるガラス玉の生産と流通について検討した。

2. 対象資料

調査対象資料は、比較的出土量が限定されている前期古墳出土品を中心としたガラス製玉類261点である(表1)。比較のため後期の遺跡、東海・関東の遺跡出土試料の化学組成分析データを加えた。

表1 調査試料一覧

	古墳	所在	時代	墳形	記号	調査資料
①	狐塚古墳	茨城県桜川市岩瀬	4世紀	前方後方墳	KNT	淡青小玉14点
②	原1号墳	茨城県稲敷市浮島	4世紀	前方後方墳	HR1	淡青小玉11点出土中7点
③	原2号墳	茨城県稲敷市浮島	4世紀	矩形墳	HR2	淡青小玉4点
④	桜塚古墳	茨城県つくば市水守	4世紀	前方後円墳	SKR	淡青小玉29点
⑤	佐自塚古墳	茨城県石岡市佐久	4世紀	前方後円墳	SZT	淡青小玉8点
⑥	勅使塚古墳	茨城県行方市沖須	4世紀	前方後方墳	CYK	淡青小玉38点
⑦	能満寺古墳	千葉県長生郡長南町	4世紀	前方後円墳	NMJ	淡青小玉8点 紺色丸玉2点
⑧	甲山古墳	茨城県つくば市北条	6世紀	前方後円墳	KBY	淡青小玉3点 紺色小玉41点 勾玉9点
⑨	玉里舟塚古墳	茨城県小美玉市上玉里	7世紀	前方後円墳	FNT	紺色丸玉11点 黄色小玉22点 黄緑色小玉16点
⑩	芝丸山1号墳	東京都港区芝公園内	7世紀	円墳	SMY	青色丸玉13点 淡青小玉31点
⑪	姫塚古墳	愛知県豊橋市石巻西川町	6世紀	円墳	HMD	紺色小玉48点出土中5点

3. 調査手法

径と高さについてはデジタルノギスで計測し、色調はマンセル値を記載した。また、実体顕微鏡及び一部試料に対してはデジタルマイクロスコープを用いて表面(特に小口面)及び内部気泡の状態の観察を行った。製作技法の分類は「古墳時代ガラス玉の製作技法とその痕跡」(福島 2006)を参考とした。分類の際の観点を表2に示す。組成分析にあたっては ポータブル蛍光X線分析装置(OURSTEX 100FA-IV)を用いた。測定条件等は松崎他(2012)に基づく。

表2 製作技法分類の基準

技法	形態	表面の状態	気泡	小口面調整痕
管切り	小口が平坦で球形でない。筒状・平坦形など一様でない。	平滑	孔と平行気泡柱／列状。	両小口が再加熱による調整を受ける。一部研磨有り。
巻き	両小口面が丸く、全体は球形。	平滑	孔を取り巻く横位／斜めの伸び。列状。	小口の調整はみられない。
型作り	小口面は小さく平坦で砲弾形のものが多い。小突起や不純物がみられる。	溶け残りや表面突起	気泡の細粒が内部に充満。	小口を加熱・研磨で調整してあるもの有り

4．結果および考察

XRF分析の結果、図1に示すように調査対象試料のうち前期古墳出土のものには高アルミナカリガラスが最も多く、次いで高アルミナソーダ石灰ガラスがみられ、低アルミナカリガラス、植物灰ソーダ石灰ガラスも僅かに存在することが確認された。色調はほぼ全て淡青色透明を呈するが、千葉県能満寺古墳(4世紀)出土の低アルミナタイプカリガラス製小玉2点のみ紺色透明であった。後期古墳出土のものは植物灰ソーダ石灰ガラスが最も多く、次いで高アルミナソーダ石灰ガラス、低アルミナタイプのカリガラスが確認された。色調は紺色透明、紺色不透明、淡青色透明、青色透明、黄色不透明、緑色不透明などを呈する。形態観察に基づく製作技法の分類は、調査対象資料のほぼ全てに小口面があり、穴と平行に伸びた内部気泡の存在や表面が平滑であり溶け残りや突起がみられないことから、管切り法で製作された玉であると推定した。古代の列島内において、管切り技法を用いてガラス玉が製作されていた痕跡が未だ発見されていないことから(大賀 2010)、常陸の古墳出土のガラス小玉は列島外から製品の形で流入したものであると考えられる。また、桜塚古墳(4世紀)出土ガラス小玉のように、色調や形態が類似しているが化学的に異なる組成の小玉が一つの古墳において一連の装身具の構成要素として出土する事例(図2)が複数確認されることから、列島外あるいは列島内において、ガラス玉流通の経路中に製品の集積地点あるいは装飾品への加工地点が存在する可能性が示唆される。

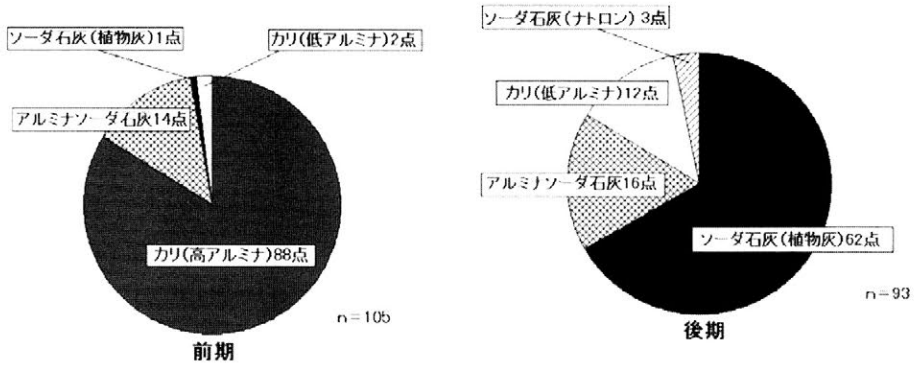


図1　古墳時代前期・後期のガラスタイプ内訳

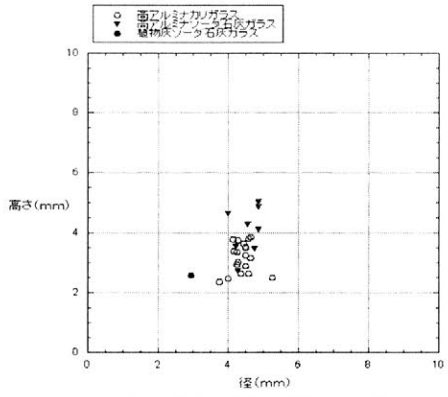


図2　桜塚古墳出土ガラス玉（29点）
ガラスタイプ-サイズプロット

【謝辞】
本研究を進めるにあたり、松崎真弓氏、柳瀬和也氏(東京理科大学)、中村賢介氏(筑波大学)には多大なるご協力とご助言を頂きました。また、以下の方々にはご厚意により貴重な考古資料を調査する機会を頂きました。
忽那敬三氏(明治大学博物館)、茂木雅博氏、比毛君男氏(上高津貝塚ふるさと歴史の広場考古史料館)、越田真太郎氏(桜川市教育委員会)　皆様に心より御礼申し上げます。

【参考文献】

大賀克彦　2010「日本列島におけるガラスおよびガラス玉生産の成立と展開」『月刊文化財』566　pp.27-35
松崎真弓・白滝絢子・池田朋生・中井和泉　2012「ポータブル蛍光X線分析装置を用いた熊本県・茨城県出土古代ガラスの考古化学的研究」『X線分析の進歩』43　pp.437-452
肥塚隆保・大賀克彦・田村朋美　2010「材質とその歴史的変遷」『月刊文化財』566 pp.13-25
福島雅儀　2006「古墳時代ガラス玉の製作技法とその痕跡」『考古学と自然科学』54

縄文・弥生時代遺跡出土編組製品素材の考古植物学的研究 —タケ・ササ類の加工

Archaeobotanical study on basket materials of the Jomon to Yayoi periods—Processing of bamboo materials

○ 佐々木由香（株式会社パレオ・ラボ），小林和貴・鈴木三男（東北大学植物園），
能城修一（森林総合研究所）

1. はじめに

編組製品は，破片で出土する場合が多く，全体像や用途が不明な場合が多い。このため，素材となる植物の種類が同定される事例は出土量と比べて少ない。しかし民具をみる限り，編組技法と素材は製品の用途（機能）と密接に関わっている。したがって，編組製品の素材を同定する作業は，素材となる植物が明らかになるだけでなく製作技法や用途を検討する上でも重要である。しかし，これまで関東地方では縄文・弥生時代を通じてタケ・ササ類（タケ亜科）が選択的に利用されており，素材選択の対象とはならず，それ以上の議論はなされていなかった。ここでは，タケ・ササ類の素材の加工について検討するため，縄文・弥生時代の遺跡から出土した編組製品を対象としてパラフィンまたは樹脂包埋法による素材植物の同定と素材形状の観察を行った。

2. 試料と方法

対象とした遺跡は，2 遺跡である。東京都下宅部遺跡では，縄文時代中期中葉から晩期中葉までの編組製品50個体と製品の素材とみられるへぎ材を束にした素材束2個体が出土している。編組製品は22個体と素材束2個体を同定の対象とした。神奈川県河原口坊中遺跡では，弥生時代後期から古墳時代前期の編組製品 4 個体が出土している。なお，下宅部遺跡から出土した1点と河原口坊中遺跡から出土した2点はPEGによる保存処理がされていた。

下宅部遺跡出土試料の切片作製方法は，事前にデジタルマイクロスコープで試料の表裏の写真を撮影した。PEG処理された素材は，温水（60℃）に2日間浸漬後に，2%アンモニア水（60℃）に1日浸漬し軟化させた。エタノール・ブタノール系列で脱水した後にパラフィンに包埋した。

河原口坊中遺跡出土試料の切片作製方法は，試料表面の砂等を除去するために，3 時間ほど温水（約70℃）に浸けた後に，筆を用いて砂等を除去した。洗浄後の試料をアセトンの上昇系列により脱水した後に，エポキシ樹脂に包埋した。

包埋した試料から，ミクロトームを用いて厚さ10～30μmの切片を作製した。トルイジンブルー染色または無染色の切片を，ビオライトまたはパラマウント-Nを用いて封入した。プレパラートは，東北大学植物園に保管されている。

3. 結果および考察

同定の結果，2 遺跡から出土した編組製品と素材束には，タケ亜科が素材に用いられていた。下宅部遺跡では，素材束の葉鞘部に植物珪酸体が残存しており，珪酸体からその母植物はアズマネザサと推定された。植物学的に縄文時代にはタケは存在しないため，結果は整合的である。

現生のアズマネザサの横断面の構造と比較すると，現生のタケ亜科の表皮側は維管束鞘が発達し，道管が小さく篩部とほぼ同じ大きさなのに対し，稈の内腔側では維管束鞘がごく薄く，道管が篩部より明らかに大きい。出土製品のタケ亜科はすべて維管束鞘が発達し，道管が小さく篩部とほぼ同じ大きさであったため，組織の構造からも表皮側のみが残存したと判断した。

樹脂包埋切片法による素材の断面形状の観察によって，タケ亜科の稈を割り裂いた後に内側が人為的に削られて，厚さが調整されている様相が植物組織から初めて明らかになった。また製品に使用されている素材は，未製品の素材束のものに比べると薄く，素材束の素材も現生の稈の厚さよりも薄く，加工段階によって厚みが調整されていた。

この結果，素材として用いられた植物はかなり人為的な加工が加えられたことが初めて解剖学的に証明された。

参考文献

佐々木由香・小林和貴・鈴木三男・能城修一（2014）下宅部遺跡の編組製品および素材束の素材からみた縄文時代の植物利用．国立歴史民俗博物館研究報告，187，329-351.

編組製品の素材同定は，平成 21－24 年度科学研究費補助金基盤研究（代表鈴木三男）「東アジアの新石器時代遺跡出土編組製品等素材の考古植物学研究拠点の形成と展開」の一部を使用した。

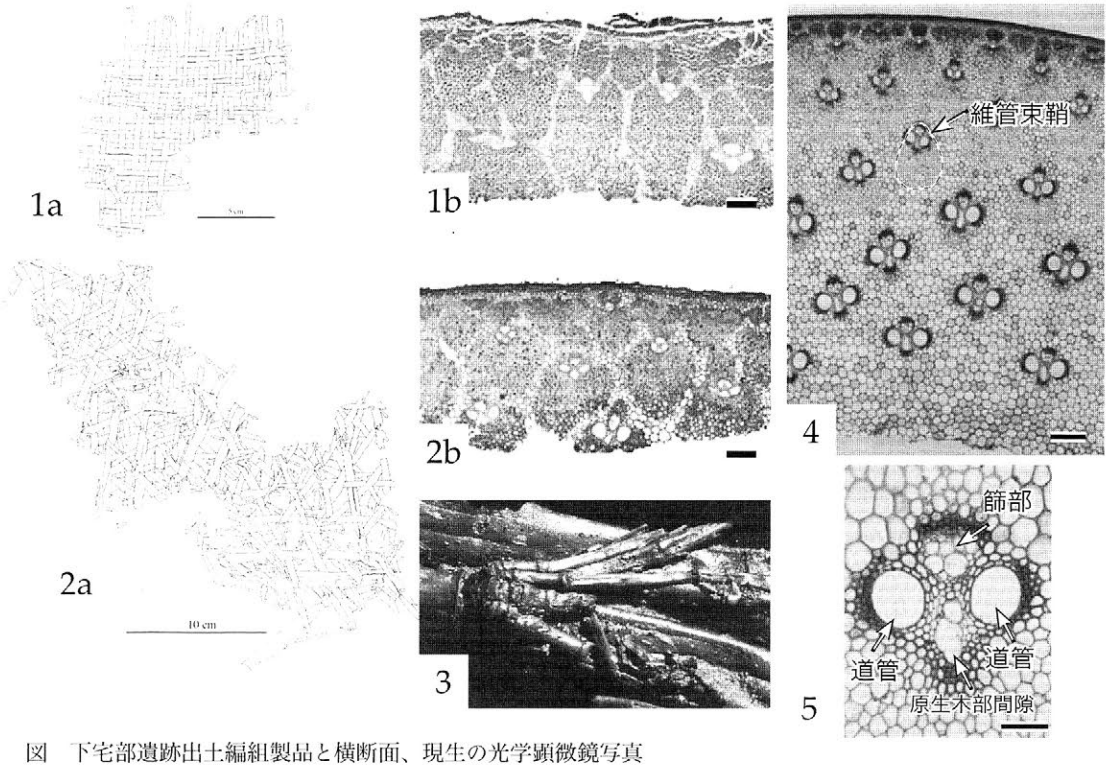


図　下宅部遺跡出土編組製品と横断面、現生の光学顕微鏡写真
1：42 号編組製品，2：46 号編組製品，3：素材束，4，5：狭山丘陵に生育する現生のアズマネザサ稈横断面（上が稈の表皮（外）側，下が内腔側；スケール＝ 100 μm（1b，2b），200 μm（4），50 μm（5））

卸し鉄の炉内反応と浸炭・脱炭機構

The Presumed Reaction Mechanisms of *Oroshi-gane*, Manufacturing Process of the Material of *Kawagane* for Japanese Swords

○齋藤努(国立歴史民俗博物館)、高塚秀治(学識経験者)

1. はじめに

「卸し鉄」(おろしがね)は、刀匠が日本刀の外側に使用する皮鉄(かわがね)の素材を製作する工程の一つで、炭素濃度の低い軟鉄に浸炭をさせるか、炭素濃度の高い銑鉄を脱炭することによって作られる。刀匠は、全く正反対なこの両者の反応を同一の炉(火床)を使用して達成させている。本研究では、宮城県大崎市に在住する刀匠の法華三郎信房氏とご子息の法華栄喜氏に依頼して、実物の火床に近い条件で再現実験用の炉を構築し、それぞれの工程を実現していただき、操業条件の計測と記録、原料と生成物の分析を行った。

2. 予備調査

実際の卸し鉄において、浸炭と脱炭を行う時に刀匠が意識している操業条件の違いは下記の通りであった。

a. 生成物が溜まる炉底の位置を、浸炭の際には深く、脱炭の際には浅く設定する。これは、羽口から出る風のあたる位置が異なっていることを意味する。
b. フイゴを、浸炭の際には早く、脱炭の際にはゆっくり動かす。これは送風量の違いを意味する。
c. 炉内温度と、炉上の炎の温度が、浸炭の際には高く、脱炭の際には低い。これは、鉄の熔ける温度や、鉄に対する炭素の出入りの条件が異なっていることを意味する。

3. 実験

実際の卸し鉄作業に使用している火床とほぼ同様な炉内形状をした実験炉を組み、以下の機材を取り付けて計測を行った。

送風量は、送風機とマスフローメーターを使用し、炉内への送風量を逐次測定しながら変化させられるようにした。炉内観察は、耐熱ステンレスパイプを、高さを変えて2本、炉内へ差し込み、外側の端部に、赤外線を透過するCaF_2ガラスを密着させて行った。炉内温度はこれに放射温度計をあてて測定した。炉上の炎は、高温用赤外線サーモグラフィーで撮影し、温度分布を調べた。

火床の形状については、主要部の寸法などは実際のものを計測したが、羽口から出る風のあたる位置や風の廻り方、炉内の微妙な形状などは、刀匠の感覚にしたがって設定した。

4. 結果

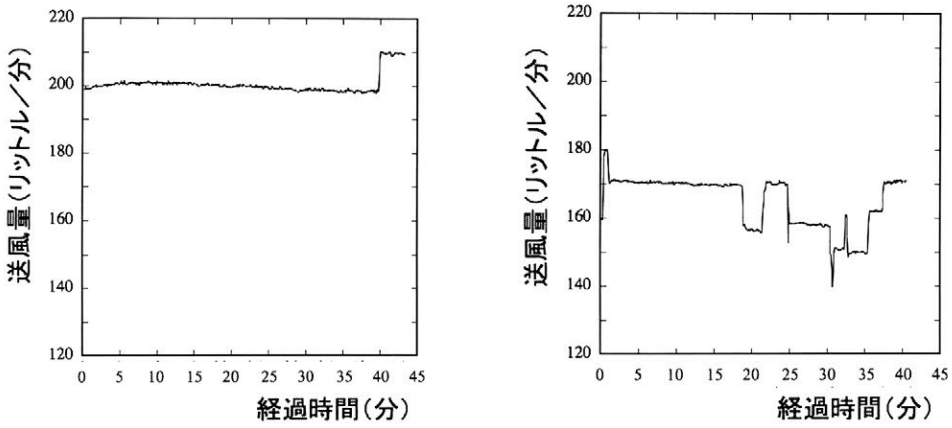
【浸炭】

炉底は羽口中央から12cm下に設定された。これは、できるだけ炉底に風が廻らないようにすることを意識したものである。原料には、江戸時代後期の軟鉄製卸金を薄く延ばして使用した。送風量の時間変化を図1aに示す。炉内で、羽口からの風が最もあたる位置での温度は1200～1300℃であった。原料の装入開始から操業終了までは44分で、原料1.6kgから生成物1.3kgが得られた。炭素濃度は、

原料では＜0.1～0.2%、生成物の大部分では0.5～0.8%程度の範囲内にあった。

【脱炭】

炉底は羽口中央から9cm下に設定された。これは、できるだけ多くの風が炉底にあたるようにすることを意識したものである。原料には、江戸時代に石巻鋳銭場で製造された寛永通寶の鉄銭を使用した。送風量の変化を図1bに示す。炉内で、羽口からの風が最もあたる位置での温度は1100～1200℃であった。原料の装入開始から操業終了までは42分で、原料1.6kgから生成物1.2kgが得られた。炭素濃度は、原料では3～4%、生成物の大部分では0.5～0.8%程度の範囲内にあった。



a．浸炭の場合　　b．脱炭の場合

図1　送風量の時間変化

5. 反応機構の推定

【浸炭】

原料の軟鉄は、炉の上層部において、高温で表面から浸炭し、半熔融状態となって下に落ちていく。これを達成するために、送風量は多くなり、それに伴って炉内および炎の温度も高くなっている。細かい温度調整は要しないので、反応が定常的に起きる条件さえ定まれば、送風量はほとんど一定のままで維持してよい。浸炭した鉄は、再度脱炭が起こらないように、羽口の前をできるだけ速く通り過ぎるようにし、風のほとんどあたらない炉底に溜まって、所定の炭素濃度が保持される。

【脱炭】

原料の銑鉄は比較的低温で熔けるので、送風量は少なく、炉内および炎の温度は低めになっている。上層部で熔けた原料は少しずつ炉底に溜まり、そこで羽口からの風を受けて脱炭が進行する。銑鉄が急速に熔けると、大量の熔融銑鉄が炉底に溜まって脱炭反応が妨げられてしまうので、そうならないように反応の微調整が必要である。その状況が図1bにあらわれている。

以上の推定にしたがえば、低炭素鉄と高炭素鉄の卸し鉄においては、各部の条件がわずかずつ異なる作業を同一の炉を使用して行っているが、炉内での機構やそこで起きている反応はまったく異なっているということになる。

長崎奉行所跡出土のガラス製品の自然科学的研究
Scientific research of glass products excavated from the Nagasaki magistrate's office site

○新免歳靖（東京文化財研究所）、豊田亜貴子（長崎市出島復元整備室）
川口洋平（長崎県世界遺産登録推進室）、二宮修治（東京学芸大学）

1. はじめに

日本の近世におけるガラス生産は長崎で始まったと考えられている。『末次平蔵御関所家財道具御払帳』（延宝４年（1676））には「日本物びいどろ釣花入」とあり、遅くとも17世紀後半にはガラスの製造が行われていたとされる。しかし、長崎ガラスの生産については、詳細な開始時期はもとより、製造技術や生産体制や規模などの実態は依然として不明のままである。さらに近世ガラスの伝世品には生産地や年代が特定できる資料は少なく、長崎で製造されたガラス製品の種類も不明確な部分が多い。しかし、近年、長崎市内では近世遺跡の発掘調査によって日本製および外国製のガラス製品が多数報告され、ガラスの製造に関連する遺物も発見されている（長崎県教育委員会1995、長崎市教育委員会2011・2012）。近世都市長崎のガラス製品とその製造の実態が明らかになりつつある。長崎の近世遺跡から出土したガラス製品の中で注目されるのが、長崎奉行所（立山役所）跡および隣接遺跡（現長崎歴史文化博物館）から出土した資料群である。特に奉行所南側に位置する炉粕町遺跡のSD１溝状遺構は、長崎奉行所の創建された延宝元年（1673）から、奉行所の大改修に伴って埋められる享保二年（1717）までが存続期間であり、本遺構から出土したポッペンなど日本製ガラス製品は、17世紀後半にさかのぼる可能性がある、現状では最も古い長崎ガラス資料の一つとなる（長崎県教育委員会2004・2005）。

そこで本研究では、伝世品も含めてほとんど情報がない17世紀後半から18世紀初頭に属する長崎ガラスの材質的な特性を明らかにするため、長崎奉行所跡と隣接遺跡から出土したガラス製品を対象として科学的な調査を行った。蛍光X線分析によって、主成分元素の濃度を求め、その濃度から原料調合比を推定した。また、近世ガラス研究では、棚橋淳二氏や岡泰正氏によって伝世品の比重値の変遷をもとに、製品の年代推定が行われている（岡1996他）。伝世品の比重値は近世ガラスの製造年代推定法として確立しており、重要なデータとなるため、本研究においても比重の測定を行った。

2. 資料

分析資料は、長崎市長崎奉行所跡と隣接する岩原目付屋敷跡および炉粕町遺跡から出土したガラス製品20点である（NB001～020）。本遺跡からは日本製、中国製、ヨーロッパ製と推定されるガラス製品が大量に出土している。その中から日本製と推定される容器類や玉類を中心に選択した。炉粕町遺跡SD1から出土した「型吹き七宝つなぎ文蓋物」（NB007）と「型吹き菊型ガラス盃」（NB006）は日本製ガラスと考えられ、長崎ガラスの基準となる資料である。資料の大半は17世紀後半から18世紀初頭のものである。

3. 分析

分析には、ガラスの材質を明らかにするために、比重測定と蛍光X線分析（XRF）を行った。比重の測定には、卓上精密比重秤（Mettler社製AE160）を用い、「空気中重量／（空気中重量－水中重量）」の式から比重値を求めた（平均水温25℃）。XRFには微小部エネルギー分散型蛍光X線分析装置SEA5120S（SII・ナノテクノロジー社製）を使用した。分析条件は、管電圧:15・45kV（マルチ分析）、電流:8～150μA、コリメーター径: 1.8mmφ、試料室雰囲気:真空、測定時間:180秒×2回である。定量分析は標準ガラス試料（Society of Glass Technology製SGT No.8）を用いたFP法により、酸化物の形で示した。資料の正確な

元素組成を明らかにするために、グラインダーで測定箇所の風化物を除去し、新鮮面の分析を行った。

4. 結果および考察

①比重測定結果　比重値は3.26～4.08の値となった。一般的なソーダ石灰ガラスで2.5程度であり、3以上は鉛ガラスの可能性が高い。資料中でNB014が3.26と最も低く、NB016が4.08最も高い値を示した。この両者を除くと、3.45～3.76で平均値は3.59である。

②XRFによる分析結果　分析の結果、ケイ素（Si）、カリウム（K）、鉛（Pb）を主成分とするカリウム鉛シリカガラス（以下カリ鉛ガラス）が大半であった。近世ガラスは、主原料に金属鉛（PbO）、アルカリ原料の硝石（KNO_3）、ケイ酸原料の白石（SiO_2）を用いたカリ鉛ガラスであることが明らかとなっているおり（棚橋1966）、従来の研究と整合性のある結果である。唯一、NB015からはナトリウム（Na）が約3.4%と高く検出されたため（他は0.2%以下）、アルカリ成分としてカリウムとナトリウムを含む混合アルカリ鉛ガラスと考えられる。国産ガラスではない可能性もある。

定量分析の結果、SiO_2が約41～47%、K_2Oが約8～13%、PbOが約39～49%となった。大半の資料はこの3成分で97%以上を占め、着色元素を除くとほぼ他の成分を含まない。この点が近世ガラスの特徴でもある。下図にPbO存在量によりSiO_2とK_2O存在量を規格化した分布図を作成した。比較資料として高松藩江戸下屋敷跡（東京都文京区）出土の近世ガラス製品（19世紀代が主）の分析値を用いた。本図から、NB014を除く長崎奉行所跡のガラスが比較的まとまった範囲にプロットされていることがわかる。

ガラスから検出された着色元素について示す。無色透明の資料からは明確な着色元素は検出されなかった。また、緑色ガラスからは銅（Cu）、黄褐色ガラスからは鉄（Fe）、紫色ガラスからはマンガン（Mn）が検出された。紺色ガラス（NB005）からはMnとCuが検出され、着色材が混合された可能性もある。また、Mnの原料として呉須の使用も想定できるが、コバルトは検出限界以下であった。

③調合の復元　上記の定量分析データをもとに、金属鉛、硝石、白石の調合量を計算した。棚橋淳二氏によると、当初は3原料が等量である調合であったが、遅くとも18世紀前半には鉛と石粉（白石）が等量の調合に移行し、18世紀の後半にさらに溶融温度を下げるために石粉の割合を減らす調合に移行し、19世紀前半には堅硬性を向上させるために石粉が増やされる調合に向かったとされる（棚橋1983）。

今回の分析結果から復元された原料調合比は、鉛「1000」に対して、白石「1000～1100」、硝石「500～600」という調合のものが主体であった。これはほぼ鉛と白石が等量の調合であり、18世紀前半の調合と同様のものであった。

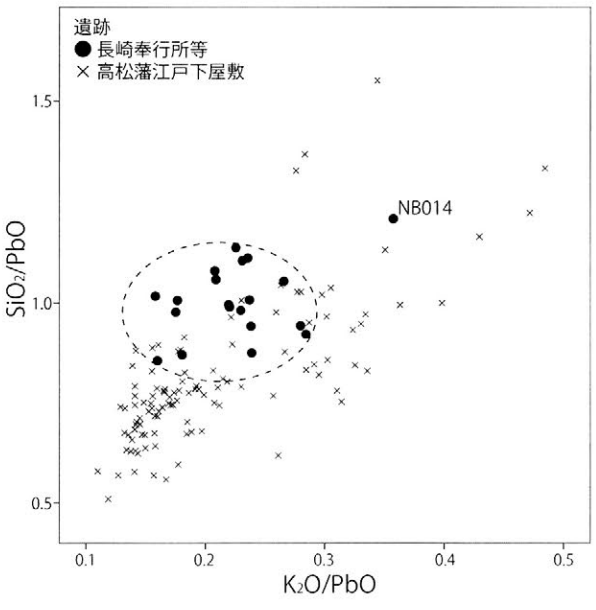


図 近世ガラス製品のSiO_2/PbO－K_2O/PbO分布図

参考文献　岡　泰正1996「びいどろ・ぎやまん概説―年代基準を求める試み―」『びいどろ・ぎやまん図譜』淡交社、棚橋淳二1966「近世日本におけるガラス製造法の発展とその限界(1)」『松蔭女子学院大学・短期大学』第8号、棚橋淳二1983「江戸時代におけるガラス技術の変遷と伝播」『松蔭女子学院大学・短期大学』第25号、長崎県教育委員会1995『万才町遺跡』、長崎県教育委員会2004『長崎奉行所(立山役所)跡・炉粕町遺跡』、長崎県教育委員会2005『長崎奉行所(立山役所)跡・岩原目付屋敷跡・炉粕町遺跡』、長崎市教育委員会2011『興善町遺跡』、長崎市教育委員会2012『興善町遺跡』

高松塚古墳壁画の材料調査

-西壁女子群像の赤衣像青色裳に使用された色料について-

Material survey of Mural Paintings of Takamatsuzuka Tomb

-Investigation of painting material which was used for the pattern as an ancient Dark Bluish "Mo 裳" -

○赤田昌倫(1) 、吉田直人(2)、辻本與志一(1)、降幡順子(1)、早川泰弘(2)、高妻洋成(1)、早川典子(2)、脇谷草一郎(1)、田村朋美(1)、朽津信明(2)、岡田 健(2)、宇田川滋正(3)、建石 徹(3)

(1)奈良文化財研究所、 (2)東京文化財研究所、(3)文化庁

○Masanori AKADA **, Naoto YOSHIDA *, Yoshikazu TSUJIMOTO** , Junko Furihata** , Yasuhiro HAYAKAWA* , Yohsei KOHDZUMA**, Noriko HAYAKAWA* , Soichiro WAKIYA** , Tomomi TAMURA** , Nobuaki KUCHITSU* , Ken OKADA*, Shigemasa UDAGAWA*** and Toru TATEISHI ***

* Nara National Research Institute for Cultural Properties ,

** National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo *** Agency for Cultural Affairs

1. はじめに

高松塚古墳壁画の西壁女子群像では黄色や緑色衣人物像の裳が襞ごとに異なる色料で塗り分けられ、縞模様が特徴的である。一方で赤色衣人物像の「青色裳」については、全体に青色色料が用いられており、他の人物像のような襞ごとの明瞭な塗り分けは確認できない。そこで「青色裳」について調査をおこなった結果、襞の一部に青色に「赤みがかかった部位」が存在することがわかった。本発表では青色裳の色料特定と、混色部の分布についての調査結果について報告する。

2. 調査方法と分析条件

調査には蛍光X線元素分析と可視反射分光分析を主として用いた。蛍光X線元素分析は携帯型装置Thermo社製NITON XLt-500を使用した。測定条件は管電圧40 kV、管電流Auto(約10 mA) 、測定時間60 秒であった。可視反射分光分析は日本分光製分光光度計MV-2020(プローブ光源内蔵)を使用した。測定条件は波長範囲400-968nm、測定距離3cm、照射径:1mm、測定時間:0.5秒×120回であった。また、色料の粒子や表面状態の確認にはデジタルカメラ(RICOH Caplio GX100)によるマクロ撮影をおこなった。撮影条件はLED斜光を照射し、露出(F) 7.9、シャッタースピード(S) AUTO、最望遠、視野35*26mmとした。

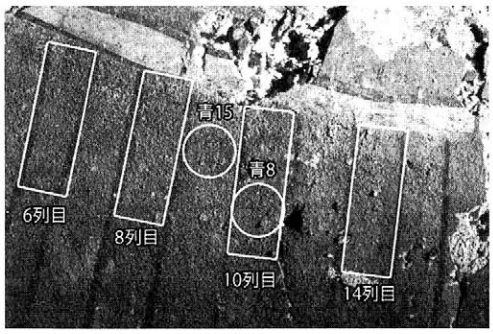


図1 「青色裳」のマクロ画像(青8混色、青 15 青色)
赤枠で囲んだ襞が「赤みがかった部位」

3. 調査結果

3.1 「青色裳」の分析結果

肉眼観察から「青色裳」は全体的な青色の中に「赤みがかかった部位」が存在し、混色に見える。そこで、赤色色料に関連する粒子を確認するためにマクロ撮影をおこなった。図1に「青色裳」のマクロ撮影の画像を示す。「赤みがかかった部位」について詳細に観察すると、赤色色料は青色色料の上にあって混色に見えていること、混色部は特定の襞に集中しており、青色が強い襞と、混色が顕著な襞に別れていることがわかった。赤色色料に関連する粒子については混色部の特に赤みが強い部位を拡大したが、粒子形などは確認できなかった。その他、青色

の粒子とわずかに緑色の粒子が含まれていることを確認することができた。

蛍光X線分析では、主としてカルシウム，銅，鉛が検出され、特に銅が強く検出された。銅については青色色料に関連する元素であると考えられる。一方で、水銀などの赤色色料に関連する元素については検出されず、鉄についても青色部と混色部とでは強度に顕著な差は現れなかった。

図2に「青色裳」の青色部（青15）、混色部（青8）と比較色料の反射スペクトルを示す。青色部からは群青または群緑に近いスペクトルが得られたことから、蛍光X線の分析結果と合わせて銅系の青色顔料が使用されたと考えられる。次に混色部（青8）の反射スペクトルをみると、青色部では確認できなかった、550nmのピークと580~590nmの変曲点を確認することができた。これらの特徴は群青や群緑では現れないことから、混色部に使用された赤色色料に由来すると思われた。そこで、支持体を漆喰、下層を群青と群緑で混合した青色材料の上に、赤色の顔料及び天然染料を塗布した、その反射スペクトルについて混色部と比較した。その結果、群青と群緑（ともに番手-8）を重量比3:7で混ぜあわせた材料に臙脂を塗布した試料について、混色部の反射スペクトルとよく似たパターンを示した。

3.2 L*a*b*表色系を用いた青色裳の色差

図3に「青色裳」の襞ごとのL*a*b*表色系a*b*プロット図を示す。襞ごとの色の差を表すために6～9列目と14～16列目の反射スペクトルを比較し、同時にL*a*b*表色系のa*b*を算出した。その結果、6，8，14，16列目の反射スペクトルについては550nmに混色を示すピークが確認でき、表色系a*b*の値は紫色の範囲を中心にプロットされた。一方で7，9，15列目の反射スペクトルには550nm付近の混色示すピーク等は確認できなかった。またa*b*プロット図からも青色の範囲を中心にプロットされた。このことから「青色裳」は襞の一列おきに青色と混色の縞模様である可能性を指摘することができた。

4 まとめ

西壁女子群像「青色裳」の色料について各種調査をおこなった。その結果、青色色料は群青または群緑が使用されたと考えられる。混色部に使用された赤色色料については、現在までに検証した色料の中では臙脂の反射スペクトルが最も近いことがわかった。ただし、混色部と作製した臙脂試料ではピークトップの波長位置が完全には一致していないため、今後さらなる検討が必要である。また、青色と混色の箇所の色差から、襞にともなって青色-混色-青色といった縞模様の可能性を示唆する結果が得られた。

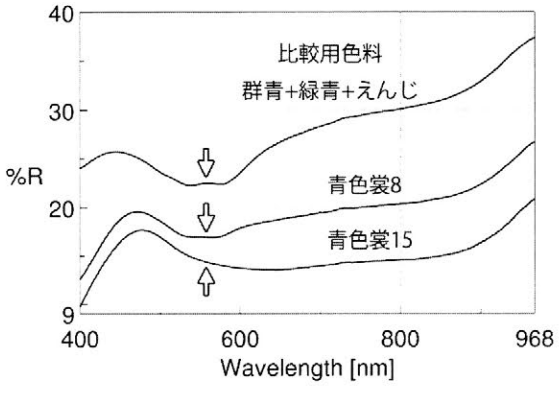


図2 「青色裳」の青色部（青 15）、混色部（青8）と比較色料（群青＋群緑＋臙脂）の反射スペクトル

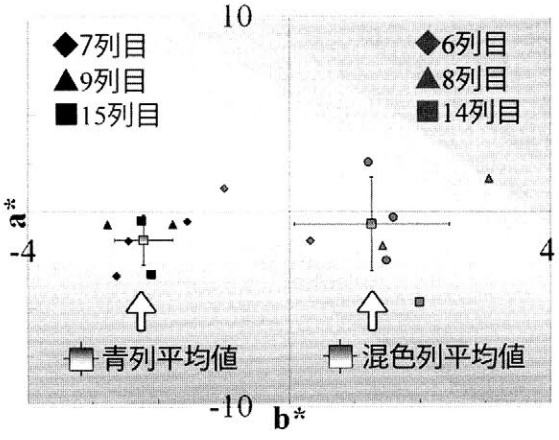


図3 「青色裳」の襞ごとの a*b*プロット図

福泉洞古墳出土馬甲付着有機質研究
A Study on the Organic Remains Attached to Horse Armor from the Bokcheon-dong tombs

○林 志暎 (韓国国立釜山大学校)
Lim, Ji-young (Pusan National University)

Ⅰ.はじめに

鉄製遺物は、埋葬後の環境下におけるサビの過程で、そこに付着したと考えられる有機質が腐食生成物に覆われるが、外形だけでなく内部細胞構造までもが覆われることによって、もとの細胞構造を反映した痕跡が保存される。このような特徴は早くから考古学や保存科学の研究対象となり、鉄で製作された刀、剣、斧の柄部や釘に残った木質、遺物を囲む繊維の同定調査が行われてきた。発表者は、このような腐食生成物によって形状が保たれた有機質に注目し、走査型電子顕微鏡を用いた観察を通して、釜山市福泉洞古墳群および金海市大成洞古墳群出土の縦矧短甲を中心とする付着有機質の同定を行い、これまで鳥の羽と推測されてきた有機質が動物の毛であることとともに、その固定方法などを明らかにしてきた。

今回の発表では、福泉洞35号墳出土の馬甲に付着した皮、毛、羽、繊維、葉など、様々な有機質を観察、走査型電子顕微鏡を用いて同定を試み、その同定結果をもとに有機質が多量に付着した馬甲片の出土位置などを踏まえた上で、その多くが失われてしまった有機遺物復元の可能性を考究する。

Ⅱ. 調査概要

韓国釜山市福泉洞古墳群は三国時代の短甲や馬冑、馬具など、伽耶地域に特徴的な鉄製品が豊富に出土したことで知られる。今回の調査対象である馬甲は、36号墳の副槨である35号墳から出土した。

馬甲は5群に分かれて出土した(図1)。西長壁側である鞍橋輪の周辺から出土したF群は、馬甲札の内外面に木質、織物、羽、毛皮、葉など多様な有機質が確認でき、また散らばった状態であったことから、多くの馬甲札が重なって群をなす他群とは出土状況も異なる。

試料はF群の毛皮(試料1)、毛皮、羽(試料2)、羽、織物、葉(試料3)、毛皮、葉(試料4、5)及び繊維片の計6点である。

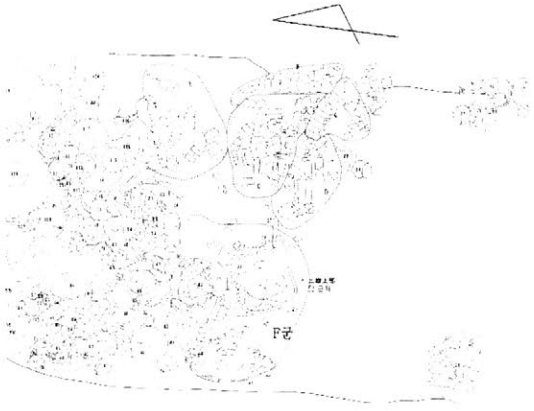


図1.福泉洞35号馬甲出土状況

Ⅲ.有機物同定

(1) 同定方法

実体顕微鏡、走査型顕微鏡を用いた観察を行った。走査型顕微鏡は奈良大学文化財学科保存科学室所在のHITACHI3500、韓国釜山大学校NCRC所在HITACHI S-4800を使用した。

動物毛のcuticle, medulla、羽の比較は現生動物試料および佐藤元(2000), Teerinl, B. J. (1991)の分類を、織物の形態分類は布目順郎(1988), 榎本都(1994)の論文を参照した。

(2)同定結果

試料1～4では大きく4種類の異なる毛皮が確認できる。1)断面円形、または楕円形の残存最大径250 μm前後の保護毛と下毛が独立した形態をなしている(図2①)。scaleは幅広い花弁形、皮質が非常に薄く、medullaは格子形配列であることから偶蹄目シカ科動物の毛皮と推定できる(図2④)。

2)残存最大径200 μm前後の単独直毛で、短く、3本の先端部が収斂する。cuticle, medullaともに観察できなかった(図2②)。

3)残存最大径100～80 μmの断面円形の保護毛を中心に、10本以下の下毛がまとまる毛束である。100 μmの毛が中心保護毛、80 μm毛が側部保護毛と想定できるがcuticle, medullaは観察できなかった(図2③)。毛束が10本前後の動物は、テンやオコジョが12本前後、イイズナが8本である。

4)残存最大径100 μm以下の直毛、cuticle, medullaの形態は確認できない。

そのほか、羽辺が最小5 cm以上の飛上羽や平織の麻及び絹繊維(⑤)、腺點(⑥)のある広葉樹の葉が観察できる。

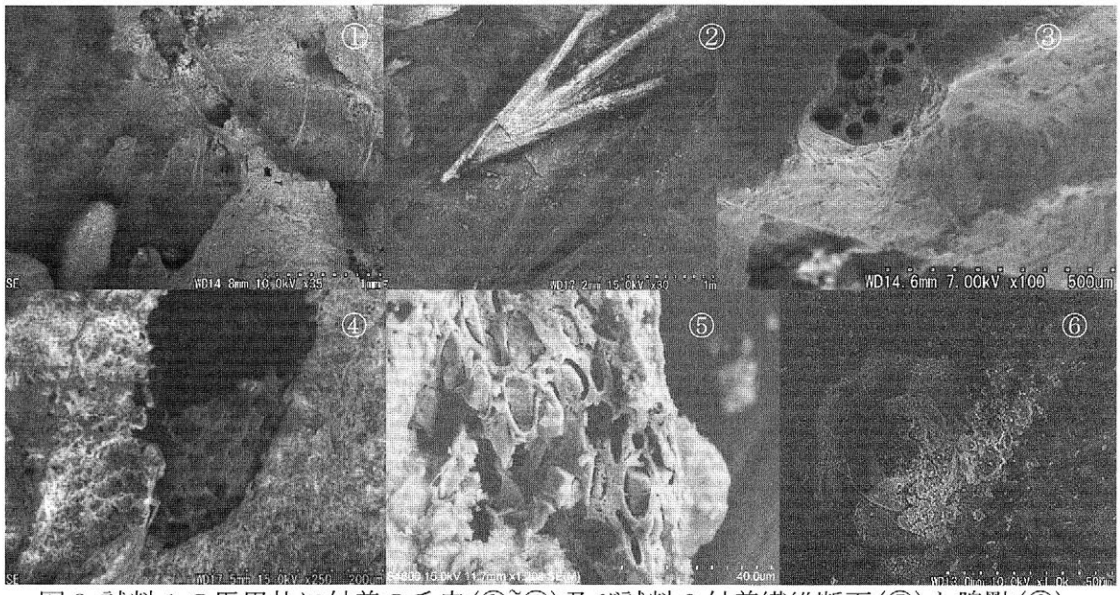


図2. 試料1の馬甲札に付着の毛皮(①~④)及び試料3付着繊維断面(⑤)と腺點(⑥)

Ⅳ. 考察

以上、少なくとも3種類以上の毛皮、毛、羽、麻、絹繊維、葉などの豊富な有機質がみられるF群は、他の馬甲群に比べても有機質付着様相に差が大きい。馬甲の出土で知られる咸安馬甲塚や慶州チョクセンC10号馬甲でも、一部毛皮と多様な繊維が観察できるが、毛や羽、葉の確認事例は認められない。

また、先述したように、出土状況においても馬甲札が重ならず散らばる状態で、F群内では鞍橋輪と輪鐙が確認できる。正倉院寶物の馬鞍第4号韉の説明で[韉の芯は筵、栢葉、麻布等を幾重にも重ねて作り、表には牛皮を (中略) 海豹の皮を貼る] (出口2006)とする。幾種類かの毛皮や繊維、葉が重なる様子は、35号出土馬甲F群に見られる有機質の状況との類似をみてとれる。

馬甲に付着する多様な有機質が馬甲冑の附属具である可能性も排除できないが、馬甲群内での有機質の差や、鞍橋輪と輪鐙が群内にあるという出土状況から、鞍の有機質が付近に位置する馬甲のサビによって残された結果と推定できる。

末筆ではあるが、機器分析を快くお許し頂いた西山要一先生に心より感謝する。

エジプト・カラニス遺跡出土ガラスの考古科学的研究
An archaeological and scientific study of glass from Karanis, Egypt

○田村朋美*、大賀克彦**、赤田昌倫*、北條芳隆***
(*奈良文化財研究所　**奈良女子大学　***東海大学)
○Tomomi TAMURA*,　Katsuhiko OGA**, Masanori AKADA*, Yoshitaka HOJO***
* Nara National Research Institute for Cultural Properties
** Nara Women's University, *** Tokai University

1.　はじめに

東海大学には、エジプトを中心に収集された貴重な考古資料が鈴木コレクションとして所蔵されている。このたび、鈴木コレクションの中で、エジプトのカラニス遺跡において採集されたガラス製品を詳細に調査する機会を得たので、その結果を報告する。

2.　資料と方法

当該資料は、ほとんどがガラス製容器類の破片と考えられる。すべての破片に対して管理用に№1～163の個体番号が与えられている。調査の過程で3組7点に接合関係が認められたので、ここでは総数を159点として扱う。ただし、他にも同一個体の可能性がある破片が数組含まれるので、本来の総数はさらに減少する可能性がある。

本研究では、超音波研磨装置により表層の風化層を除去したうえで蛍光X線分析（EDAX社製エネルギー分散型蛍光X線分析装置EAGLEIIIを使用）を実施した。励起用X線源はMo管球、管電圧は20 kV/50 kV（定量分析は20 kV）、管電流は100 μA、X線照射径は112 μm、計数時間は300 秒とし、真空中で測定した。測定結果は標準試料を用いて補正したFP法により規格化し、酸化物重量百分率で表した。また、ガラスの色情報を記録するため、可視反射分光分析もおこなった。測定には、日本分光製分光光度計MV-2020(プローブ光源内蔵)を用いた。測定波長範囲は400-968 nm、プローブ光照射径は1 mm、測定時間は0.5秒×120回であった。

3.　結果と考察

（1）同一個体内における化学組成

26点の資料に関しては、口縁部や体部の装飾、もしくは把手や高台として同色、もしくは色調の異なるガラスが貼り付けられている。これらの資料では、同色のガラスが使用される場合だけではなく、異なる色調のガラスが組み合わされる場合にも、基礎ガラスの化学組成は類似性が高いことが確認された。

（2）化学組成による区分

対象資料は、MgOとK_2Oの含有量からナトロンガラス154点と植物灰ガラス5点に大別される。ただし、植物灰ガラスの1点は微量成分の含有量や製品としての特徴はむしろナトロンガラスと類似する点が留意される。さらに、ナトロンガラスは、帰属の判断が困難な1点（№27）を除いて、添加された消色剤の組み合わせから、次の1類～5類に区分した。植物灰ガラス（6類）はそれぞれが個性的であるため、細分はしない。

1類（14点）：ナトロンガラス、0.5～2.5%のSb_2O_3を含有するがMnOはほとんど含有しない
2類（6点）：ナトロンガラス、0.5～2.5%のSb_2O_3と0.2～0.6%のMnOを含有する
3類（2点）：ナトロンガラス、消色剤をほとんど含有しない
4類（2点）：ナトロンガラス、Sb_2O_3はほとんど含有しないが0.3～0.4%のMnOを含有する
5類（129点）：ナトロンガラス、Sb_2O_3はほとんど含有しないが原料に由来する不純物として1.0%以上のMnOを含有する
6類（5点）：植物灰ガラス

（3）着色

1類および2類については意図的な着色剤の添加は行われていないが、鉄の含有量が0.5～0.6%を境界として、それを超える個体は青色～青緑色に発色している。ただし、2類に包括した№61 のみは容器片ではなく、色調も濃緑褐色を呈する特殊なものである。3類および4類は、3類の№104の1点を除いて、本体部分がコバルトによって着色される点を特徴とする。5類の多くは意図的な着色は行われていないが、不純物として含まれるFe_2O_3や MnO の含有量が多く、褐色や緑色に発色している。6点程度は本体部分がマンガンの添加によって紫褐色に着色されているが、マンガンが不純物として含まれる個体との境界は明確ではない。また、装飾としてコバルト着色および銅着色のガラスが貼り付けられた個体が各6点ずつ含まれる。コバルト着色は体部の斑点文が多く、銅着色は口縁付近や底部に紐状のガラスとして貼り付けられる。6類では、№43は本体部分が銅で着色され、濃緑色を呈する。また、№49は本体部分がコバルトで着色され、口縁外面に幅広で無色透明のガラスが貼り付けられている。

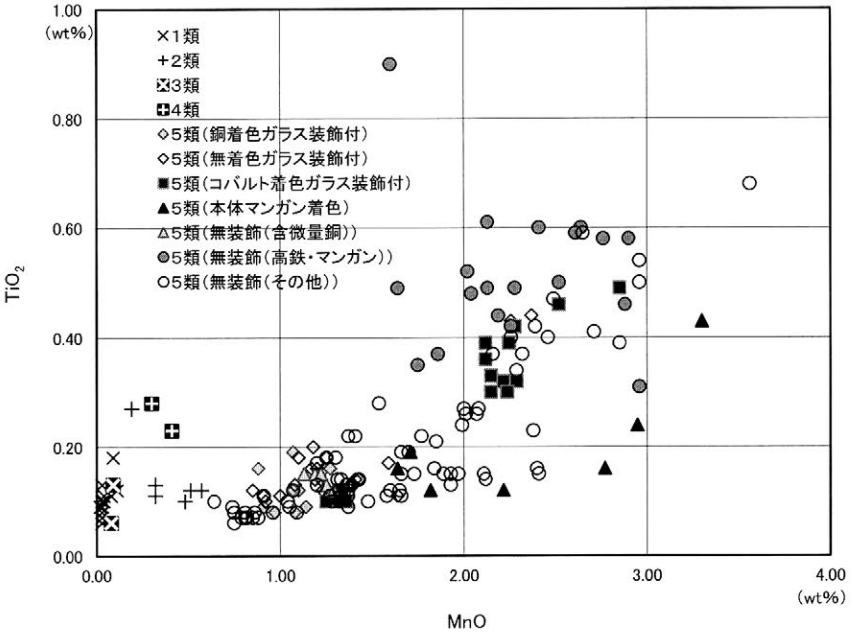


図1　カラニス出土ガラスの MnO-TiO_2 含有量

（4）5類の多様性

5類は、ナトロンガラスとしては CaO やAl_2O_3の含有量が比較的少ない。また、不純物としてFe_2O_3、MnO、TiO_2 を多く含有し、相互に正の相関関係を示す。以上の特徴から、5類は4世紀頃に出現し、エジプトで生産されたと考えられている HIMT タイプのナトロンガラスに該当するものと考えられる[1]。Fe_2O_3や MnO の含有量の変異は大きく、それぞれ0.3～4.0%、0.8～3.0%程度の広がりを示す。含有量の多寡と色調の濃淡には相関が認められる。

マンガンによる本体部分の着色や、銅着色もしくは無着色の紐状ガラスの貼り付けによる装飾は、5類の中でもFe_2O_3や MnO の含有量が比較的少ない個体に著しく偏って出現する。また、Fe_2O_3や MnO の含有量が比較的少ない資料群においては、CuO やSb_2O_3を0.1%程度含有する個体が散見される。これはリサイクルされたガラスの混入の結果であると推定される。Sb_2O_3を含有するガラスは HIMT タイプよりも早い時期に流通していたと考えられており、Fe_2O_3や MnO の含有量が比較的少ない HIMT タイプにおいて古い時期のガラスが混入する割合が高いことは、そうした特徴を持つ HIMT タイプが若干先行して出現するという理解[2]とも調和的である。また、HIMT タイプにおいては、初期に比較的多様な装飾技法が認められるのに対して、意図的な着色が衰退し、コバルト着色のガラスによる装飾に収斂していくという時期的な変化を示すものでもあると考えられる。

1) Freestone,I., Wolf,S., Thirlwall,M. 2005. The Production of HIMT Glass: Elemental and Isotopic Evidence. in Annales du 16e Congres de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre.

2) Foster,H.E., Jackson,C.M. 2009. The Composition of 'Naturally Coloured' Late Roman Vessel Glass from Britain and the Implications for Models of Glass Production and Supply. *Journal of Archaeological Science*, 36.

放射光X線による徳川ミュージアム所蔵　野田清尭製火縄銃の調査報告
ー用いられている材料と製造方法についてー

Scientific research on Japanese matchlock guns fabricated by Noda Kiyotaka owned by the Tokugawa Museum by synchrotron X-ray

○田中眞奈子[1]・徳川眞木[2]・永田　和宏[3]・伊東真義[4]
(1 東京藝術大学、2 徳川ミュージアム、3 東京藝術大学大学院、4 高輝度光科学研究センター)

はじめに

発表者はこれまで、日本の主要な鉄鋼文化財である火縄銃銃身に用いられている鉄鋼原料の由来、銃身の製造方法、表面処理の有無および腐食挙動などを明らかにすることを目的に火縄銃の金属組織学的研究を破壊分析で行い、基礎データを蓄積してきた。文化財の分析は本来非破壊が原則であり、現在はそれらの基礎データをもとに、研究の第2ステップとして、火縄銃をはじめとした鉄鋼文化財の非破壊分析に取り組んでいる。今回、徳川ミュージアム所蔵の大変貴重な野田清尭製火縄銃5挺について非破壊分析を行う機会を得た。野田清尭は徳川家康の御用鍛冶として有名で、日本古来の火縄銃の製造において最高の技術を有していたと考えられている。野田清尭は献上先によって3種類の銘を使い分けており、具体的には、「日本清尭」は家康の愛用筒、「清尭」は家康以外の徳川一族の持筒、「野田善清尭」は神社の奉納品と言われている。また、野田清尭製の銃は、銃身の原料（砂鉄や輸入鋼）や製造方法（「重張」や「三重張」）が銃身に銘として刻まれている非常に希少な火縄銃である。大型放射光施設SPring-8で得られる大強度116keVの高エネルギーX線を用いれば、非破壊でも鉄文化財に関して、従来の方法では得られなかった情報を得られる可能性があるため、野田清尭製火縄銃5挺をSPring-8で分析した。

本研究は、16挺しか現存していない野田清尭製火縄銃のうち、徳川ミュージアムの所蔵する5挺を大型放射光施設SPring-8の放射光X線を用いて調査し、具体的には高エネルギー蛍光X線分析による火縄銃銃身の重元素測定と、高エネルギーX線透過撮影による銃身の内部微細構造の確認を行い、野田清尭製の火縄銃銃身に用いられている鉄原料（砂鉄や鉄鉱石）の特徴や製造方法を非破壊で明らかにすることを目的としている。最終的には経験に基づき行われてきた日本古来の鉄の製造・加工技術の保存、伝承に寄与し、また鉄文化財の非破壊解析手法を確立することを目的としている。

分析方法

大型放射光施設SPring-8（ビームライン08W）の116keVの放射光X線を用いて、徳川ミュージアム所蔵の野田清尭製の火縄銃計5挺（「日本清尭」銘の銃2挺、「清尭」銘の銃2挺および「野田善清尭」銘の銃1挺）の銃身を分析した。

1. 高エネルギー蛍光X線分析…銃身に含まれる重元素をはじめとした微量元素の定性分析
2. 高エネルギーX線透過撮影…銃身内部の微細構造の確認

分析結果の概要

(1) SPring-8の高エネルギー蛍光X線を用いて、野田清尭製の火縄銃5挺に含まれる重元素をはじめとした微量元素を測定した。得られた結果の代表例として、「日本清尭」銘の火縄銃（図1）の高エネルギー蛍光X線スペクトルを図2に示す。スペクトル上に現われている鉛（Pb）のピークは装置からのバックグラウンドであり試料に由来するものではない。いずれの火縄銃からも鉄（Fe）以外の特定の微量元素は検出されなかった。野田清尭製の銃は、その銘から、原料に国産の砂鉄と輸入鋼である南蛮鉄が用いられていることが知られているが、今回分析を行った徳川ミュージアム所蔵の5挺の銃のうち3挺には「鋼鐵筒」や「刃鐵筒」という銘が切られており、これらの銃身の原料は国産砂鉄と考えられる。そのため、比較試料として国内各地の砂鉄、国内の製鉄・精錬遺跡から出土したスラグ、鉄塊および鉄

製品の高エネルギー蛍光 X 線分析も行った。その結果、国産砂鉄は、産地により様々な重元素を含んでいるが（図３）、製錬・精錬および加工工程を経て重元素の大部分がスラグの方に排出され、最終的な鉄製品中には重元素がほとんど残留しないという傾向が確認された。重元素を指標とした鉄文化財の原料同定の可能性について検証するためには、南蛮鉄のような鉄鉱石原料の場合に、製鉄・精錬および加工工程を経て、原料に含まれる重元素がそのように推移するのかについても確認していく必要がある。

(2) 野田清尭製の５挺の火縄銃の高エネルギーX 線透過撮影を行った結果、図４に示すように、内部微細構造を確認することが出来た。具体的には、ねじ山の数、非鉄金属による象嵌や機関部の構造といった通常の X 線透過撮影でも得られる情報に加えて、銃身と同じ鋼による目当などの構造や、修復の跡である「埋鉄」も確認することが出来た。更に銃身の鋼内部の非金属介在物の配列も一部で観察することが出来、銃身の製造方法の解明につながる大変重要な情報を得ることが出来た。

まとめ

高エネルギー蛍光 X 線の結果、銃身からは特定の重元素は検出されず、鉄原料に関する情報は得ることが出来なかった。検証の結果、和鉄の原料の砂鉄に多く含まれる重元素は、製錬・精錬および加工工程を経て排出され、最終的な鉄製品中にはほとんど残留しないことが明らかになった。今後、原料が鉄鉱石の場合の挙動を確認し、重元素を指標とした鉄文化財の原料（砂鉄・鉄鉱石）同定の可能性を引き続き検証していきたい。一方、高エネルギーX 線透過撮影の結果、内部微細構造を知ることが出来ただけでなく、銃身内部の非金属介在物の配列も一部確認することが出来た。非金属介在物は加工に影響された配列をするため、その配列から製造方法を推定することか可能であり、経験に基づき行われてきた日本古来の鉄の製造・加工技術の解明にむけ、極めて重要な成果を得た。放射光 X 線が、鉄文化財の非破壊分析に大変有用であることを確認することが出来た。

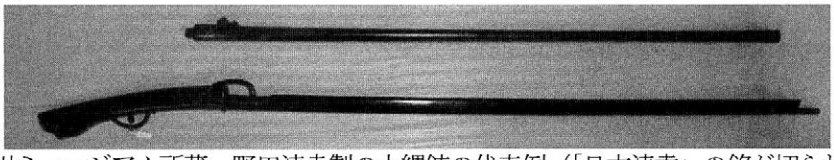


図１　徳川ミュージアム所蔵　野田清尭製の火縄銃の代表例（「日本清尭」の銘が切られている火縄銃（全長 141.2cm、銃身長 106.6cm、口径 1.3cm）

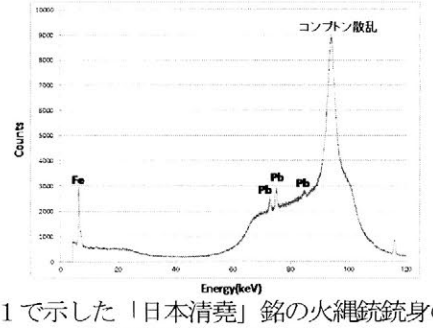


図２　図１で示した「日本清尭」銘の火縄銃銃身の高エネルギー蛍光 X 線スペクトル

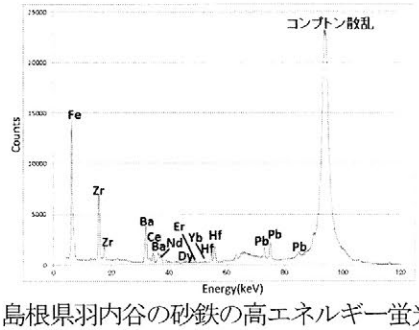


図３　島根県羽内谷の砂鉄の高エネルギー蛍光 X 線スペクトル

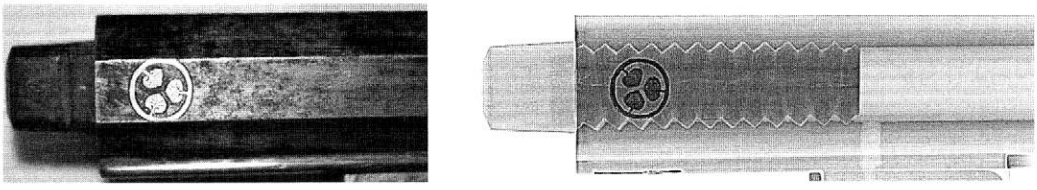


図４　左：図１で示した徳川ミュージアム所蔵　野田清尭製の火縄銃の尾栓部、右：同部分の高エネルギーX 線透過像

【謝辞】本研究は SPring-8 利用課題 2012A1041、2012B1468 及び 2012B1493 で行われたものです。本研究の一部は高梨学術奨励基金平成 24 年度及び平成 25 年度助成金によるものでご支援に深謝いたします。

黒塚古墳出土三角縁神獣鏡の非破壊定量分析

Non-destructive quantification analysis of triangular rimmed deity and beast mirrors excavated at Kurozuka tomb

○長柄 毅一（富山大学）、栗田 佳之以（同左）、菅谷 文則（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山 誠義（同左）、宮原 晋一（同左）、三船 温尚（富山大学）

○Takekazu Nagae, Kanoi Kurita (University of Toyama), Fuminori Sugaya, Masayoshi Okuyama, Shinichi Miyahara (Archaeological Institute of Kashihara, Nara), Haruhisa Mifune (University of Toyama)

1. はじめに

奈良県天理市の黒塚古墳において出土した33面の三角縁神獣鏡は、古代の日本を知るための重要な文化遺産であり、現在も調査研究が行われている。成分分析については、Spring-8 による微量成分の分析がなされているが[1]、Cu、Sn、Pb の主要3元素の定量分析はこれまでに行われていない。その理由としては、表面が酸化皮膜に覆われており、蛍光 X 線分析では正確な定量ができないと考えられてきたことにある。我々は、この青銅鏡表面をマイクロスコープで観察しているうちに、金属組織像を取得できるエリアがあることを見いだし、画像処理によって簡易定量する試みを昨年度の大会で発表[2]した。この方法では、α相と共析相の面積比から、Cu と Sn の比を高い精度で求めることができる。ただし、腐食の影響で Pb 相の抽出が難しいこともわかった。そこで、Pb 定量値の精度を高めるため、蛍光 X 線定量データを利用する方法について検討したので、その成果の一部を発表する。

2. 資料および調査方法

調査の対象としたのは、黒塚古墳から出土した33面の三角縁神獣鏡であるが、今回は、4号鏡、18号鏡、24号鏡、28号鏡の4面について発表する。

金属組織観察は(株)ハイロックス製デジタルマイクロスコープ KH-7700 を使用した。鏡を直接観察するため、3D タイリング機能を用い、凹凸面でも広範囲でピントのあった画像を取得することができた。得られた金属組織画像を Adobe Photoshop および三谷商事製画像処理ソフト Win ROOF を用いて解析し、α相およびα+δ共析相の面積率を求めた。また、Pb 相は比較的わかりやすい場合もあるが、表面の腐食の影響で、きちんと分離することの困難な場合が多い。そこで、Pb の含有比率を求めるため、蛍光 X 線分析のデータを利用した。装置は、アワーズテック(株)製の可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA である。ロジウム(Rh)ターゲットを用い、管電圧 35kV 、管電流 0.08mA、照射時間 60s の条件で分析を実施した。定量計算は、ファンダメンタル・パラメータ法(FP 法)によって行った。

3. 結果および考察

図1は黒塚28号鏡の鏡面から直接観察し、取得した金属組織像である。初晶α相と共析分解してできたα+δ共析相が見られる、典型的な Cu-Sn-Pb 系高錫青銅の組織といえる。この組織をもとに画像処理によってα相の抽出を行った。図2の白い部分がα相である。α相の面積率は44.4%であり、共析相は55.6%であった。Pb 相と考えられる部分もα相、共析相部分に認められるが、Pb 相と判定するための明確な根拠に乏しいため、それぞれα相、共析相の一部として計算した。X 線分析顕微鏡を用いた面分析ができれば、Pb 相の面積比算出は可能と考えられるが、重要文化財である当該資料を、装置所有の機関へ持ち運ぶ

ことが簡単ではないことから、本研究では蛍光X線分析のデータを用いた。沢田の報告[3]によると、青銅鏡は、そのサビの状態の如何を問わず、同一面におけるSnとPbの含有量がほぼ比例的な関係を持っていると見なすことができるとしている。我々は、まずこのことが黒塚鏡においても成立するのかを確認するために、図3に示す位置で蛍光X線分析を行った。同一面においても、様々な腐食状況が観察されたが、あらゆる錆の状態をできるだけ網羅するよう、広範囲にわたって位置決めをしている。(n=17) 得られた分析データからSn含有量に対するPb含有量をプロットしたところ、図4を得た。これから、相関係数が0.85となり、かなり高い相関があることが確認できた。

金属組織の面積比をもとに、蛍光X線データから得られたPb/Sn比を組み合わせて補正した黒塚28号鏡の主要三元素Cu、Sn、Pbの比率はそれぞれ、74.6%、20.5%、5.0%となった。

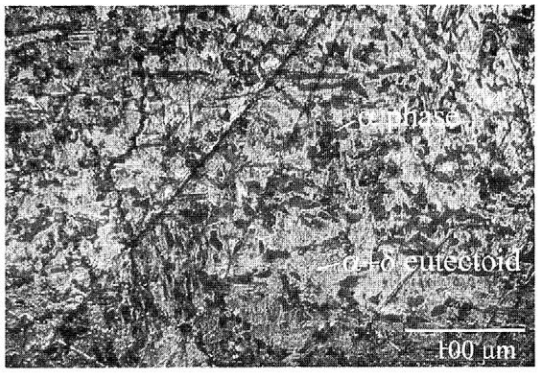


図1　黒塚28号鏡の金属組織

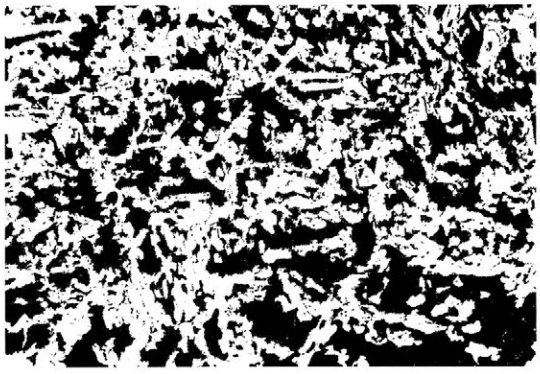


図2　画像処理によるα相の抽出

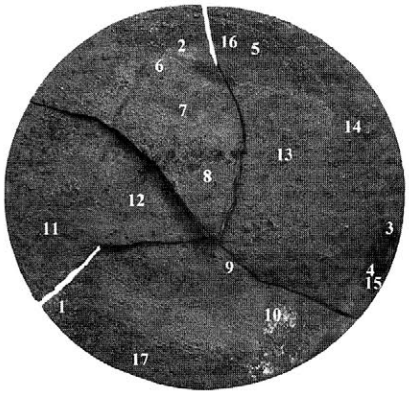


図3　黒塚28号鏡における蛍光X線分析位置

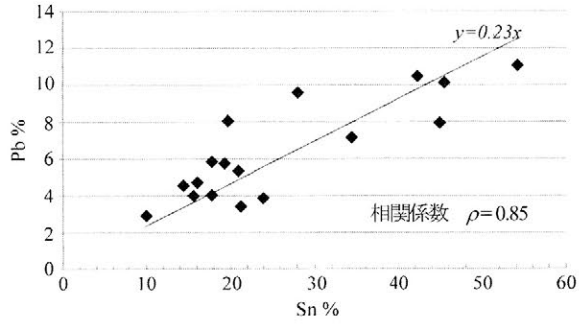


図4　蛍光X線分析データによるSn/Pb比

参考文献

1)　樋口隆康、外山 潔、廣川 守、伊藤真義、梅崎則正、野崎彰子、住友芳夫、鈴木謙爾、奥山誠義 2008「SPring-8を利用した古代青銅鏡の放射光蛍光分析（II）」『泉屋博古館紀要』第24巻 pp.1-24

2)　長柄毅一、奥山誠義、菅谷文則、宮原晋一、三船温尚 2013「非破壊法による出土青銅鏡の組織観察と成分分析」『日本文化財科学会第30回大会研究発表要旨集』pp.68-69.

3)　沢田正昭 1981「古鏡の化学」『日本の美術 古鏡』第178号　pp.88-94.

2011年における陸前高田市立博物館被災剥製類修復の取り組み

Approach to Repairing Damaged Taxidermy in the Rikuzentakata City Museum, 2011.

○富岡直人[*1]・熊谷　賢[*2]・岩見恭子[*3]・絹田有梨[*1]
(*1：岡山理大生物地球学部、*2：陸前高田市立博物館、*3：山階鳥類研究所)

要旨

東北地方太平洋沖地震による巨大津波で破壊された陸前高田市立博物館・海と貝のミュージアムで展開した被災剥製修復の取り組みを報告する。ここで論じた発災後から2011年末までの9ヶ月間での被災資料の救出・安定化処理は、初動期（発災直後～5月連休）・体制模索期（～7月頃）・体制確立期（～12月頃）の3期に分けられ［熊谷・富岡2013］、限られた条件の中で可能な対応が模索された［熊谷2012、熊谷・砂田 2012］。体制模索期迄は戸惑いながら作業を進行したため、対応の迅速化・作業方法の改善が可能と考えられ、その内容を研究者間で共有できれば、今後の災害における資料類の救出・安定化事業が効率化され、より多くの資料の救出が期待できる。

1.　初期クリーニング作業

発災後は気温が低かったこと、淡水ではなく海水に浸されたことから、カビや細菌の生育・腐敗の進行、被災資料の劣化が抑えられた可能性がある（註）。ただし、筋肉の除去が徹底していなかった剥製標本は腐敗しやすく、カビに侵されやすかった。インフラが喪失し復旧しなかった条件ではやむを得なかったが、三菱化学のRP剤とエスカルによる封入や水道が利用できる地域に移送し、1次水洗を行い低温度で保存するか風乾を優先させることが出来れば劣化の程度はより軽微に抑えることが出来たと推定される。

被災剥製は、5月4日に宅急便で陸前高田市より搬出し、宅急便を経由して5月6日に岡山理大へ移送し、塵埃の状況より対応する人員はマスク・ゴーグル・ナイロン手袋着用の後作業にあたった。水道水による第1次水洗によって表面の汚泥を取り除き、無水エタノールを少量ずつ噴霧しながら、実習室で扇風機による風乾を行った。油脂や膠着物質の除去には界面活性剤と無水エタノールを使用したが、多量に付着させることを避け、少量を複数回用いた。金属資料や紙資料等脱塩作業が重視され、長時間水に漬ける工程が採用される安定化処理もあるが、剥製においては、すべてがこれを施すかは検討の余地がある。羽毛の合間に見える皮膚表面で強くカビが発生したスポットへのエタノールでの効果は限定的であったため、過酸化水素水（3%溶液）を綿棒であてて、滅菌をおこなった。ただし、羽毛についた場合は、明らかにダメージを生じていたので、使用は大いに慎重さが必要である。

鳥類・哺乳類の剥製標本は、他の生物標本と比較して、構造が複雑な場合が多く、修復により多くの技術が要求された。例えば、鳥類剥製には羽毛・皮革・鱗・爪・クチバシ・骨格が付属するばかりか、ガラス義眼・樹脂・木質剤・植物質繊維・合成繊維・金属等が内蔵されることが多い。加えて、剥製資料の津波による大量被災の例は従来存在せず、塩水や汚泥と射流で汚損・破壊された標本をどの様に扱えば良いのかは、事前のマニュアルが存在しなかった。そのため、作業は手探りで始められ、作業方法については、西尾製作所・山階鳥類研究所・上野剥製所・倉敷市立自然史博物館・国立科学博物館の各位をはじめ、多くの専門家が協力し、実施されることとなった。

汚泥や膠着物質による汚損が深刻な場合には第2次水洗では洗剤を利用した。利用した洗剤は、生体の鳥類の洗浄にも用いられ、定評のある家庭用液体洗剤（界面活性剤［アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム、アルキルアミンオキシド、ポリオキシエチレンアルキルエーテル］、安定化剤、粘度調整剤、酵素を成分とするP&G社製台所用洗剤　ジョイ）を主とした。

5月に搬入した剥製には、オオハクチョウやイヌワシ等の大型の鳥類の皮膚の内側や内部の詰め物にカビの発生がみられたものの、小型鳥類剥製にカビは確認されなかった。しかし、8月搬入資料の一部に深刻なカビの発生がみられ、綿類の黒色化と硫化水素臭の発生も深刻であった。鳥類剥製の洗浄については、岩見の提案で、6月以降は水洗後には筆粉をまぶし、余分な水分を手早く除去する方法を採

用した。

また、爬虫綱ワニ類の剥製の保存状態はやや良好に見えたが、剥製内部では湿気が残り、縫い目に接した木毛や新聞紙にカビがみられた。まず、作業者の安全を確保するために、カビの発生した木毛等詰め物は廃棄し、文字が書かれ生産地が推定される新聞紙は、5%の漂白剤（次亜塩素酸ナトリウム・水酸化ナトリウム・界面活性剤を成分とするジョンソン社製　カビキラー）を噴霧し、さらに水洗した後、乾燥させてからクリアファイルやチャック付ビニール袋に保管した。

2.　剥製資料の安定化処理・修復作業

展示用剥製のイヌワシ2体は、採集者や採集年代および採集地点が記憶されており、学術的価値が高いものであった。この2体の破損は深刻で、旧状への修復が困難であることが把握された。これらは、岡山理大における安定化処理で、外表面がある程度洗浄された段階で、内部にもカビの発生と汚泥の浸入、陶土の崩壊が確認された。岩見と上野純治剥製師（上野剥製所）によって皮膚の軟化及び脱塩・洗浄・内部の胴芯の交換といった作業が行われ、その方法が岡山理大にも伝えられ、洗浄作業の参考に活用にした。

当初、津波によって汚泥や海水で汚損された脆弱資料に直面した時に、熊谷と富岡は「この資料は修復できないかもしれない」と考えた。しかし、上述の剥製師と保存科学の専門家に相談するうちに、ほとんどの資料の安定化処理の方法が把握され、資料の廃棄は回避された。鳥類・哺乳類剥製は、製作や修復の際に塩水やミョウバン水溶液を利用することもある点より明らかであるが、災害で海水や水を受けても、早い段階で安定化処理を実施すれば剥製の復活が可能であることを、多くの研究者が理解する必要がある。

応急処理として、先述の様な無水エタノール・界面活性剤利用・次亜塩素酸ナトリウム溶液利用や和紙を利用した補強のノウハウを共有しておくことも重要であろう。また、海水損に対しては塩素濃度計によるモニターも必要と考えられることから、早い段階で機器類を確保し資料のモニターに利用することも重要である。一方で、我々も多用した無水エタノールは石油科学系の部品や塗装が劣化するという現象を引き起こしたので、事前の配慮の必要性が指摘できる。

所謂坂本式剥製製作法で作られた剥製は、天然素材の木毛・脱脂綿で作られ、骨格構造の部分については、カビの発生以外全く劣化が起きず、その優秀性が証明された。ガソリンに浸かってしまったマガモは1年以上強いガソリン臭を放ち、当初は汚泥も除去することは困難で、羽毛も抜けやすく皮膚に劣化が生じた様子がみられた。しかし、包んだ新聞を何度も変えることによってその臭気も減少し、3年を経過すると比較的良好な状態で安定しつつある。

一方で古い剥製では陶土を利用した造形の部分（例えば頭部及び眼窩）が高湿度の環境にあったため歪みを発生した。さらに水分を吸収してしまったため重みを増し、損壊の誘因となった状況がうかがわれた。今後、軽量の素材の利用等に変える方向等が検討されるべきであろう。また、スチール針金の錆化にも手をやかされ、多くの資料で付け替えを実施せざるを得なかった。古い剥製については今後ステンレス製針金等に利用を切り替える方向が検討されるべきであろう。

また、一度海水損を受けている資料は、中に含まれる塩分の影響で、湿度が上がるとカビや細菌が発生する可能性も考えられる。カビや細菌類が繁殖しにくい状態に維持する必要があり、恒常的に相対湿度60%未満の収蔵庫［木川2004］の中で塵埃を資料が拡散しないように何らかの箱に納めた状態で保管することが望ましいといえよう。

註）　海水損によるカビや細菌の生育抑制効果は、赤沼［2012: p. 33］に指摘されている他、東京文化財研究所で紙資料について検討されている［林他2012］。

引用文献

赤沼英男　2012　「岩手県立博物館における文化財レスキューの現状と課題－陸前高田市救出資料を中心に－」『被災地の博物館に聞く　東日本大震災と歴史・文化資料』［吉川弘文館］: pp. 10-59

木川りか　2004　「生物」『文化財保存環境学』［朝倉書店］: pp. 96-121

熊谷　賢　2012　「陸前高田における文化財レスキュー」『東北地方太平洋沖地震被災文化財等救援委員会平成23年度活動報告書』: pp. 226-230

熊谷　賢・砂田比左男 20120320 『被災地の博物館に聞く　東日本大震災と歴史・文化資料』［吉川弘文館］: pp. 60-109

熊谷賢・岩見恭子・山崎剛史・富岡直人　2013　「陸前高田市立博物館における剥製・動物遺存体資料の救出・安定化作業と課題」『半田山地理考古』第1号: pp. 91-100

林美木子・佐野千絵・佐藤嘉則・木川りか　2012　「被災文化財や行政文書を想定した紙の水分特性」『日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集』: pp. 404-405

出土木製遺物の屋外水中保管環境における溶存酸素の分布と挙動

Distribution and behavior of dissolved oxygen in the storage for waterlogged wooden objects

○松田和貴（京都大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、髙妻洋成（同左）
○Kazutaka Matsuda (Kyoto University), Soichiro Wakiya, Yohsei Kohdzuma
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　水中で保管されている出土木製遺物の劣化には、好気的な環境で有機物を分解するバクテリアをはじめとした微生物の活動が大きく関与している。したがって、好気性微生物の活動による遺物の劣化を抑制するためには、水中の溶存酸素量を低減することが有効であると考えられる。しかしながら、木製遺物の水中保管環境における溶存酸素の分布と挙動について、定量的な把握を試みた研究はこれまでにない。そこで本研究では溶存酸素量に着目し、とくに微生物が繁殖しやすい屋外の木製遺物保管環境の調査を実施した。さらに、得られた調査結果を気象データと比較し、種々の環境因子が屋外水中保管環境中の溶存酸素量の多寡に及ぼす影響を検討した。

2. 調査方法　調査は、奈良文化財研究所内の出土木製遺物保管用屋外プールで実施した。プールの水深は約 100 cm で、降雨や蒸発等により多少変動する。データロガ(Onset Computer 社製 U26-001)を水深 30、60 および 100 cm の位置に 1 台ずつ設置し、水温と溶存酸素量を 30 分間隔で測定した。測定は 2013 年 7 月 3 日 0:00 に開始し、現在も継続中であるが、ここでは 2014 年 5 月 14 日 0:00 までの測定データを示す。気温の変化や降雨の影響を検討するための気象データは、気象庁奈良地方気象台発表のものを利用した。なお、本プールでは水を清浄に保つ目的で、2013 年 8 月 8 日から遺物表面およびプールの清掃と、水の入れ替えが実施された。清掃作業に際して測定を中断し、8 月 10 日 0:00 より測定を再開した。酸素の水に対する溶解度は水温などによって変化するため、データロガ付属のソフトウェア(HOBOware Pro Version 3.4.1)を用いて、理論的な溶存酸素量の飽和値に対する測定値の百分率を算出した(溶存酸素飽和度と称す)。ただし、計算時に必要となる測定地点の海面気圧は、標準大気圧である 101.3 kPa で一定、標高は奈良地方気象台と同一の 104 m とした。

3. 結果および考察　各水深における溶存酸素量の測定結果を図 1 に示す。清掃作業前の測定では、水深が深いほど溶存酸素量が少なくなる傾向があった。とくに、プールの底部にあたる水深 100 cm では、溶存酸素量の測定値は常に 0 mg/L であった。これには、好気性微生物が木製遺物を含む水中の有機物を分解する際に溶存酸素を消費する一方で、水面を介して大気から酸素が溶解していたことが大きな要因であると考えられる。また、水深 30 cm では、夜間に溶存酸素量が急激に増加し、以降翌日の深夜まで徐々に減少する傾向があった。こうした溶存酸素量の周期的な増減は、気温の日変化と対応していたことから、比較的溶存酸素に富んだ表層水が夜間に冷却されて沈降し、測定値を上昇させたものと推察される。このほか、多量の降雨によっても溶存酸素量が増加したが、水温の低下も認められたことから、同様に表層水の冷却によって水の鉛直混合が生じたものとみられる。また、雨滴が水面を撹乱することで、大気からの酸素溶解が促進された可能性も考えられる。水深 60 cm における溶存酸素量は、下限値が 0 mg/L となるほかは、水深 30 cm と類似した挙動を示した。以上から、プール内の溶存酸素は微生物によって消費される一方、大気から表層水に供給され、さらに外気温や降雨の影響を受けてより深い領域へ移動することが示唆された。なお、本プールでは藻類やシアノバクテリアのような光合成をおこなう生物が繁殖したと考えられるが、水深 30 および 60 cm においては、日中にも溶存酸素量が減少を続けていた。このことから、微生物の好気呼吸による酸素消費量が、光合成生物による酸素の供給量を大きく上回っていたと推察される。これには、プールの上面が黒色の寒冷紗で覆われていたことでプール内部への日射量が制限され、光合成生物の増殖が抑制されていたことが一因であると考えられる。プール清掃および水の入れ替え作業の結果、各水深とも溶存酸素量が大きく増加した。その後、水深 100 cm では溶存酸素量が徐々に減少したが、ときおり急激かつ大幅に

増加した。これは、気象データとの比較から、台風などによるまとまった降雨に起因するものと推察される。なお、他の水深では溶存酸素量の減少は比較的鈍く、清掃と水替えによってプール内の微生物の絶対数が大きく減少したことが考えられる。10 月下旬から 12 月後半にかけては、各水深とも溶存酸素量が緩やかに増加したが、その一方で、図 2 に示すように溶存酸素飽和度は翌年 3 月までほぼ一定の高い水準を維持していた。水温の低下にともなって、水中微生物の増殖速度が低下し、酸素消費量が減少したことに加え、酸素の水に対する溶解度が増大したためであると考えられる。したがって、水中における好気性微生物の活動による木製遺物の劣化は、水温が十分に低下する時期には比較的抑制されていると判断できる。なお、3 月以降は、水温の上昇とともに、溶存酸素量および溶存酸素飽和度が低下しており、微生物による好気呼吸すなわち木製遺物を含む有機物の分解が活発化し始めたと考えられる。

4. 結論　本研究では屋外の出土木製遺物保管プールの水質調査をおこない、溶存酸素の鉛直分布と挙動を定量的に把握し、また気象データとの比較から、種々の環境因子が溶存酸素量の多寡に及ぼす影響を検討した。その結果、1) 外気温、2) 降雨、および 3)日射が水中の溶存酸素量の増加に大きく関与することが示唆された。これらの影響を緩和することで、保管中の木製遺物を分解する微生物への酸素供給量をより低減できると考えられる。とくに、水温が比較的高く、好気性微生物の活動が活発となる時季には、可能な限り溶存酸素量を低減することが望まれる。そのための具体的な方策と効果については、今後検討をおこなう必要がある。ただし、溶存酸素量を十分低減した場合における、嫌気性微生物の活動による木製遺物への影響もあわせて検討する必要がある。

【謝辞】調査にあたり、奈良文化財研究所 都城発掘調査部には多大なるご協力をいただいた。記して深く感謝申し上げる。

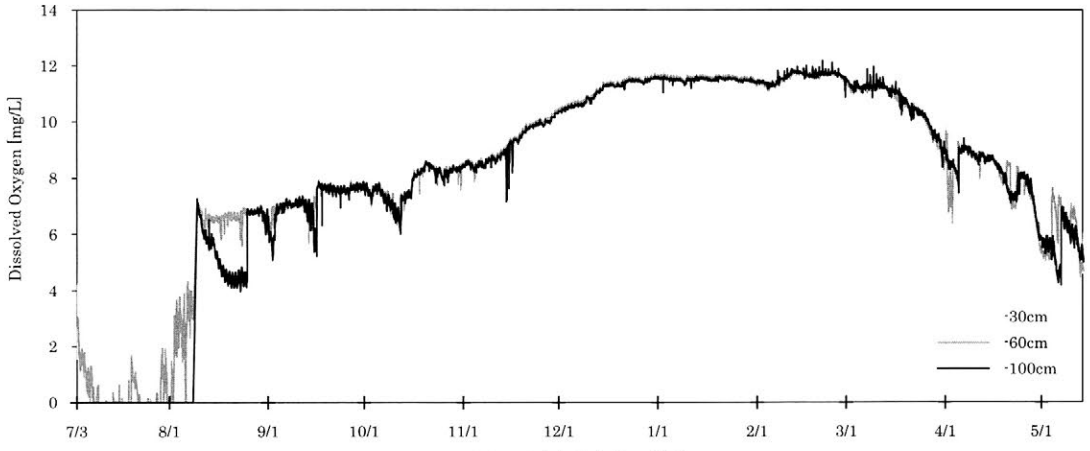


図 1　溶存酸素量の推移

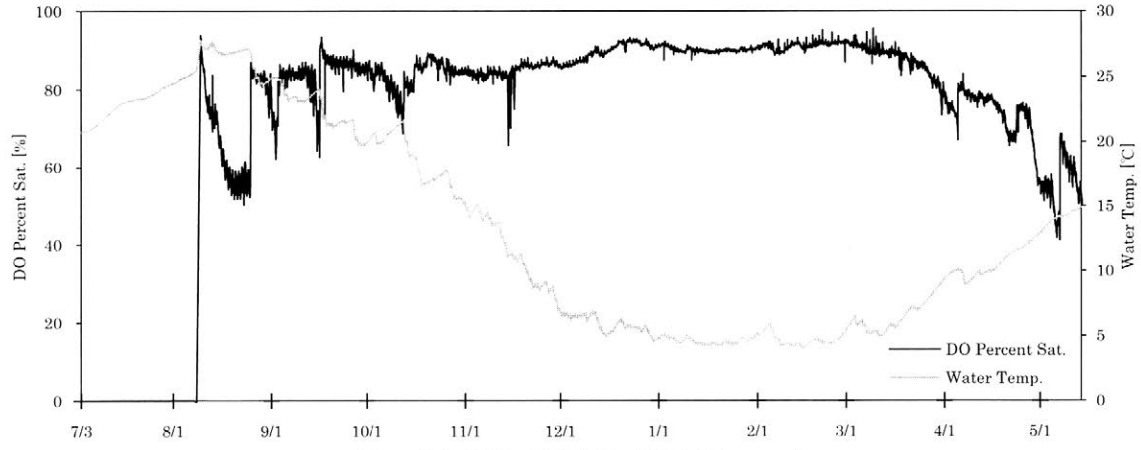


図 2　溶存酸素飽和度と水温の推移(水深 100 cm)

振動解析による石造遺跡の予防診断法の開発Ⅱ
－凍結融解による破壊分析－
Development of technical measures for the preventive diagnosis of stone-built heritage site using vibration analysis
-A destructive analysis by the freezing and thawing test-

○跡見洋祐（筑波大学），松井敏也（筑波大学），川村洋平（Curtin University）
○Yosuke Atomi(University of Tsukuba), Toshiya Matsui(University of Tsukuba), Yohei Kawamura(Curtin University)

【はじめに】

遺跡は立地する環境から様々な影響を受けており、この影響の一部が遺跡の劣化へと繋がっている。劣化現象には様々なものが存在し、各劣化現象に応じた調査はこれまでに多く行われているが、これらの調査は劣化が生じてしまった後を評価するものが多く、遺跡の劣化を未然に予測できるものは少ない。そこで本研究では、遺跡を構成する材料の潜在的な劣化ポテンシャルを把握し、劣化の進行の有無や劣化進行スピードを診断する調査方法を確立することを目的とする。物質の破壊現象は微小なレベルの破壊がまずあり、それらが集積されて最終的な破壊に至る。本研究では破壊初期段階の微小破壊の際に発生するAcoustic Emission（以下AE）を検出し対処をすることによって遺跡の劣化を未然に防ぐ。

【AEによる診断法】

対象物内部に微小な亀裂が生じると、それに伴いAEが発生する。この発生したAEをセンサによって検出することによってAEの測定を行うことができる。使用した測定装置はデータロガーにマルチ入力データ収集システムのKEYENCE社製NR-600を用い、計測ユニットとして高速高電圧計測ユニットNR-HV04を用いた。AEセンサにはエヌエフ回路設計ブロック社の広帯域AEセンサAE-900S-WBを使用し、ディスクリミネータは同社のAE9922を用いて計測を行った。

【実験内容・結果】

実験サンプルには旧富岡製糸場の煉瓦を模して作られたものを使用し（含水量63.89g、含水比20.27）、4.5cm×4.5cm×9cmに成形した。1日含水させた実験サンプルをステンレスバットに入れて、下部1cmが水に浸かるようにし（図1）、恒温恒湿機で15℃（2時間）、その後－10℃（2時間）を1サイクルとして測定を行った。データロガーのサンプリング周期は1μs(1MHz)に設定し、トリガレベルが0.5Vを上回るAEが発生したら1カウントとして測定を行った。ディスクリミネータは60dBで増幅し、ハイパスフィルタは20kHz、ローパスフィルタを200kHzに設定した[1)]。実験結果は図2に示す。図2ではAE発生回数を縦棒グラフで表している。

1)大津政康(2005)『アコースティック・エミッションの特性と理論―構造物の診断と破壊現象解析―』pp11-19,森北出版

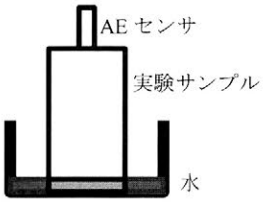


図 1　試験概要

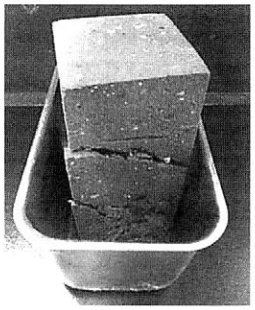


写真 1　17 サイクル後の実験サンプル

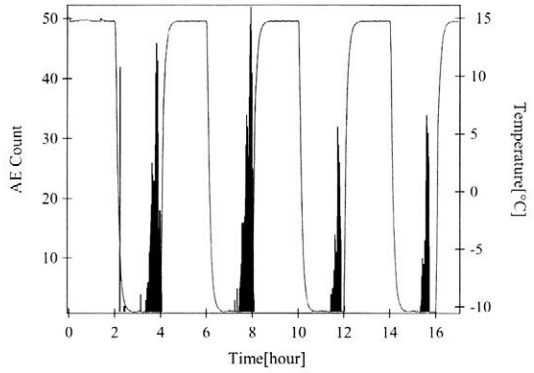


図 2　温度変動に伴う AE 発生回数(1～4 サイクル)

表 1　各サイクルにおいての AE 発生回数

サイクル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
AE 発生回数	791	881	363	359	657	556	746	549	517	238	735	546	473	458	316	152	180

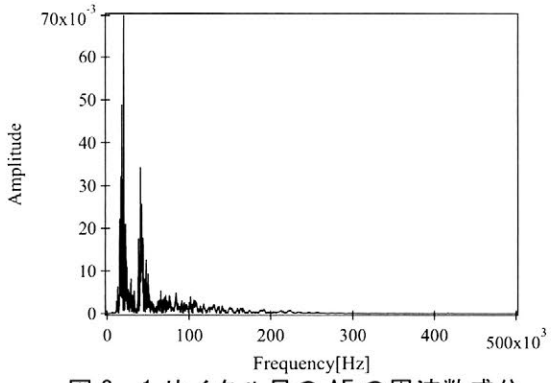


図 3　1 サイクル目の AE の周波数成分

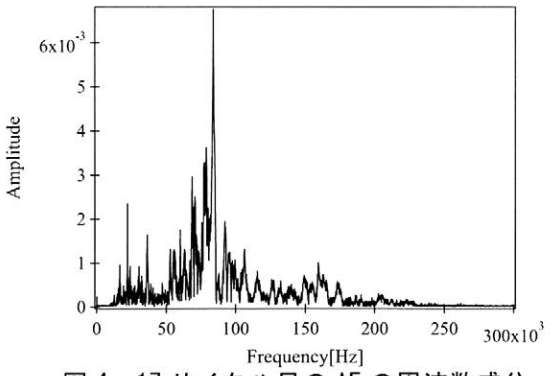


図 4　17 サイクル目の AE の周波数成分

図 2 より、恒温恒湿器内の温度が 0℃以下になってから約 1 時間後に AE が発生する。この AE は実験サンプル内の水分が凍結することによって体積が膨張し、その膨張圧によって実験サンプル内部で微小破壊が生じ AE が発生したと考えられる。AE はどのサイクルにおいても約 0.5 時間発生し続けるが、その後 AE は発生しなくなる。AE の発生がみられないことから凍結状態において劣化が進行する時間は限られていると考えられる。今回用いたサンプルと実験条件では 17 サイクル目に表面に大きな亀裂が生じ（写真 1）測定を終了した。各サイクルにおける AE 発生回数を表 1 に示す。今回の実験で発生した AE の合計回数は 8517 回であった。15 サイクル以降 AE の発生回数が少ないのは実験サンプル内部の亀裂のために発生する AE が減衰しセンサまで伝播しないためである。図 3 は 1 サイクル目に発生した AE を周波数解析したもの、図 4 には 17 サイクル目に発生した AE を周波数解析したもので、凍結融解による劣化が進行することによって新たに高周波の AE が発生することがわかった。AE の周波数解析を行うことにより内部で進行する微細亀裂による劣化を把握できる可能性がある。

【今後の課題】

凍結融解により破壊が進行しているサンプルに既存の保存対策を行った場合に AE 発生がどのように軽減されるか確認し、凍結融解による最善な保存対策の検討を行う。

トレハロースを使用した真空凍結乾燥法による出土木材の保存処理研究

Study on conservation of Waterlogged wood using freeze-drying method with trehalose

○中村晋也（金沢学院大学）、関　晃史（(公財）石川県埋蔵文化財センター）

○Shin-ya NAKAMURA（Kanazawa Gakuin university）

Akifumi SEKI（Ishikawa Archaeological Foundation）

1．はじめに

近年、出土木材の保存処理におけるトレハロース含浸法の研究が、発表者らを含め各地の関係機関で取り組まれ報告されるようになってきた。トレハロースは、酸性環境、熱に対する安定性が高く、常温で安定した2含水結晶を作り、結晶後の吸湿性も低く、PEGやラクチトールと比較しても安価であるなど、新たな保存処理薬剤としての有用性は高い。一方で、様々な樹種・含水率の出土木材の処理において、最終含浸濃度の設定、結晶化、乾燥終了の判断など、さらなら研究を進める必要性も指摘されている。

本研究では、低濃度のトレハロース水溶液を出土木材に含浸し、残留水分を真空凍結乾燥法（以下、FD）で除去することで、より短期間で高い形状安定性を得る処理が可能なのか、試料実験により検証した結果から、今後の実用化への可能性と指摘される今後の課題について報告する。

2．試料と処理条件

【試料作成】

実験では含水率の異なる2種のクリ材（A材：485～598%、B材：897～1028%）を用い、木口面が3.0×3.0 cm、軸方向が1.0 cmとなる試料を作製し、接線方向、放射方向、軸方向にステンレスピンを打ち、それぞれの収縮率と木口面収縮率を求めた。

【処理条件と手順】

試料は、無処理全乾、無含浸FD、トレハロース20%含浸FD、トレハロース40%含浸FDの4条件で、各条件5個を処理した。各トレハロース水溶液の含浸は室温環境下で行い、含浸後の予備凍結は、−40℃に設定したフリーザー内で24時間実施した。FDは、−25℃、0.05Torrに設定した庫内で実施した。FD中は24時間ごとに重量を測定し、重量変化率が0.5%となった時点で恒量に達したと判断し乾燥終了とした。

なお、処理後は、前述の収縮率計算、肉眼観察、X線透過撮影を実施し、寸法安定性の評価を行った。

3．結　果

処理後の木口面収縮率を、図1、2に示す。

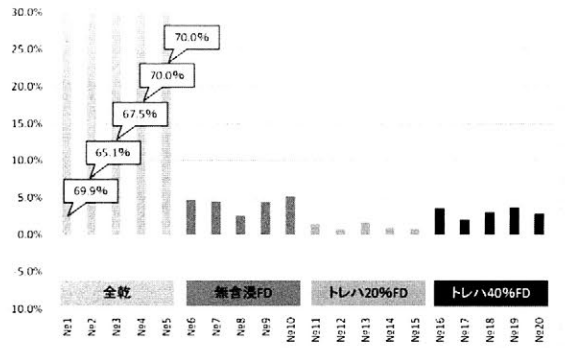


図１　A 材の木口面収縮率

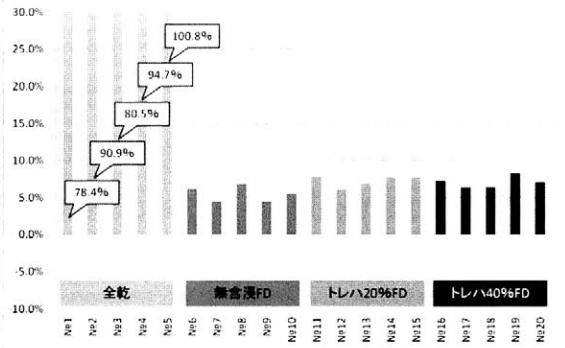


図２　B 材の木口面収縮率

A・B 材とも、薬剤含浸をせずに FD した場合でも、ピン間距離から算出した木口面収縮率は全ての試料が 7.0%以下であった。しかし、両材とも試料表面および内部に亀裂が認められた。一方、トレハロースを 20%ないし 40%含浸して FD 処理した A 材試料は、木口面収縮率 0.7～3.7%であり、試料内外に亀裂等の目立った変化は認められなかった。同じく、A 材より高含水率の B 材試料については、木口面収縮率 6.0～8.3%とやや劣る結果となった。また、B 材試料では、トレハロース 20%FD の 1 点、トレハロース 40%FD の 5 点において、試料内外部で亀裂が認められた。

処理結果が良好であった A 材試料について、(株) 林原の協力のもと、含浸 FD 処理後の試料中のトレハロースを粉末 X 線回折分析した。その結果、いずれの含浸濃度の試料においても、優れた安定性を示すトレハロースの 2 含水結晶が確認された。

４．まとめ

本研究の結果、含水率 485～598%のクリ材（A 材）に対して、トレハロース含浸 FD 処理は、高い寸法安定性を示した。通常のトレハロース含浸処理においては、含浸終了後、資料中の残留水分を乾燥除去するために、長い期間を必要とする場合がある。また、乾燥が不十分な状態で収納すると、湿気がこもりトラブルを生じる恐れも指摘されている。本研究において、限られた試料に対してではあるが、トレハロース含浸後の乾燥工程で FD 法を用い良好な保存処理を行なえたことは、前述の乾燥工程における課題を解決する 1 つの可能性を示す結果と考える。また、トレハロース FD 処理は非加熱処理であることから、長期間高温の水溶液に浸漬することで発生するトラブルの回避にも繋がる。

一方で、B 材のように含水率が 1000%近いクリ材については、必ずしも良好な結果が得られなかったことからも、トレハロース FD 処理の実用に向けては、さらに多くの樹種、含水率、形状の試料に対して実験を行う必要がある。また、予備凍結時に急冷却（−28℃以下）すると、安定した 2 含水結晶が得られない場合があるという指摘もあり、トレハロースの結晶化と残留水分の凍結という段階的な温度環境設定による処理法の改善や、資料の状態にあった適切な最終含浸濃度を検討していく必要もある。

謝　辞

本研究を進めるにあたって、大阪文化財研究所および（株）林原に多大なご協力とご教授を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。

海洋環境における鉄製遺物の腐食過程の研究
-国史跡鷹島神崎遺跡における埋蔵環境の季節変動と堆積物の状態

Corrosion of iron artifacts in marine environment
-Characteristics of seasonal change in buried environment and sediments condition at Takashima-Kozaki Archeological site

○柳田明進（橿原考古学研究所）、池田榮史（琉球大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）
髙妻洋成（同左）

○Akinobu Yanagida(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), Yoshifumi Ikeda(University of the Ryukyus), Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yohsei Kohdzuma(")

1. はじめに

鉄の腐食はそれを取り巻く環境との相互作用で生じる電気化学反応である。また、腐食を抑制する作用を持つ腐食生成物の状態はpHおよびアニオンの影響を受けて変化するため、鉄製遺物の腐食過程は埋蔵環境の影響を顕著に受けると考えられる。しかしながら、遺跡の埋蔵環境は多様であるため、土中における鉄製遺物の腐食過程については十分に把握されているとは言いがたい。たとえば、海洋環境ではイオン強度ならびに塩化物イオン濃度が極めて高いため、鉄製遺物に対しては過酷な環境であると考えられるが、その実態は充分に把握されていないのが実情である。これは、溶存酸素（DO）や酸化還元電位(ORP)といった腐食反応に直接関与する環境要因の実態が充分に把握されていないことが要因の一つと考えられる。

ここでは鷹島神崎遺跡において、海底および堆積物の環境調査をおこない、さらに得られた調査結果に基づいて、海洋環境における鉄製遺物の腐食について検討した結果について報告する。

2. 調査方法

調査地は長崎県松浦市に位置する鷹島の南岸においておこなった。調査では堆積物の温度、海底面の直上の水温およびDO濃度を測定するとともに、堆積物の鉛直方向における状態の変化を調査した。温度およびDOの測定は、元寇船が発見された付近において、2013年7月16日から2014年3月11日まで実施した。使用した温度計とDO計はOnset社製のそれぞれU-22およびU-26である。表層から約20 cmの深度の堆積物中に温度計を、海底面から約20 cmの海水中に温度計およびDO計を設置した。堆積物の柱状試料の採取は2013年10月20日に実施した。柱状試料は直径10 cm、長さ1 mのアクリル製の円筒管を用いて、3箇所において採取した。それぞれの試料番号をNo.1～3とした。各試料に対して、ORPおよびpHを深度ごとに測定した。また、No.3については深度ごとに空隙率の測定をおこなった。ORPおよびpHは土壌pH/ORP計（藤原製作所社製）を用いて現地で測定した。なお、ORPは標準水素電極（SHE）に対する値として表記した。

3. 結果および考察

堆積物の温度、海水の温度およびDO濃度を図1に示す。堆積物および海水の温度は8月に最も高く、秋季にかけて低下する傾向を示した後、2月に最小値を示した。また、夏季においては堆積物中に比べて海水の温度が高く、冬季には海水の温度の方が低い傾向を示した。温度の日変動は海水中において顕著であり、特に夏季において変動が大きいことが認められた。DOは夏季に最も低下する傾向が認められ、2～3 mg/Lを示した。秋季から冬季にかけて、DOは増加と減少を繰り返しながら徐々に上昇し、冬季には

約8.5 mg/L に達した。DO 濃度を飽和度に換算すると、夏季においては約30%まで低下し、冬季においてはほぼ飽和した状態が維持されていることが認められた。得られた結果を松浦市の気象情報[1]と比較した場合、夏季および秋季においては風速が大きい日にDO が顕著に上昇する傾向が認められたが、冬季においてはこの傾向は認められなかった。当遺跡においては夏季に水温躍層が形成されることによって、海面からのDO の供給が抑制されるとともに、低層においては生物の光合成が生じにくく呼吸が活発となることによって低層のDO が減少した可能性が示唆される。また、秋季には水温躍層が破壊され、鉛直混合が生じ、冬季においては海水の混合に加えて、生物活動が低下するため、低層においても飽和に近いDO が認められたと考えられる。また、現時点で情報が得られていない春季のDO の挙動については、夏季に向けてDO が低下していくものと推測される。8月28日から9月5日にかけて外気温の急激な低下、降水量および風速の増加が生じた後、低層の温度がわずかに上昇し、低下することが認められた。低層の温度がわずかに上昇する要因については更なる検討が必要である。

柱状試料No.1およびNo.3はシルト質、No.2は砂質であり、それぞれ鉛直方向における粒度の明確な差異は認められなかった。また、試料の pH は約7から8の弱塩基性を示し、鉛直方向における変化は認められなかった。ORP の鉛直分布を図2に示す。No.1のORP は表層において約+100 mV を示し、下層では約-100 mV を示した。また、No.3のORP は表層から約-40 cm の深度において+250 mV と極大を示し、それ以降の深度では低下する傾向を示した。-50 cm 以深においては-100 mV から0 mV を示した。No.3の空隙率は表層においては約62%を示し、深度の増加とともに低下し、−90 cm の深度においては約53%を示した。No.2のORP は表層付近において+120 mV を示し、下層では徐々に上昇する傾向が認められた。そのため、砂質に比べてシルト質の堆積物では、還元的な環境であると考えられる。また、ORP は分子状酸素が消失する+200 mV よりも低い値を示しており[2]、堆積物中は嫌気的な環境であると考えられる。

海洋環境のような中性領域の環境において、鉄製遺物の腐食に関与する主な酸化剤はDO であり、腐食の速度はDO の拡散に律速される。海水中のDO は、夏季においても2～3 mg/L を示すことから、腐食速度は一般の海水環境における腐食速度と同等の約0.1 mm/y[3]に達する可能性が示唆された。一方で、堆積物中においてはDO が消失するORP であること、ならびに海水中に比べて物質の拡散が緩慢であることを考慮すると、海水中に比べて鉄製遺物の腐食の速度は大きく低下すると推察される。

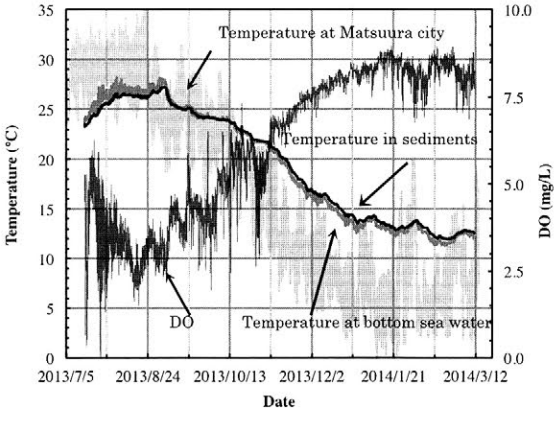


図1　鷹島神崎遺跡における温度、DO ならび松浦市の外気温の変化

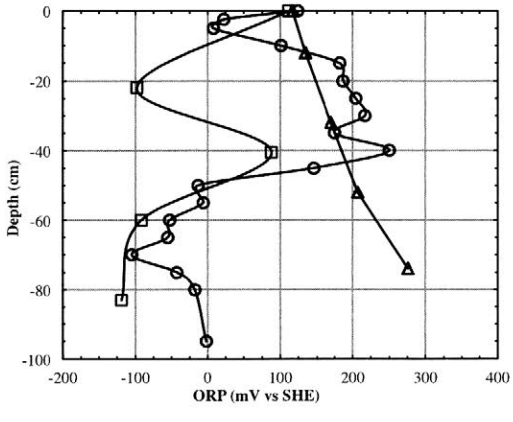


図2　堆積物中におけるORP の鉛直分布
(□：No.1、△：No.2、○：No.3)

謝辞　本研究をおこなうにあたり松浦市教育委員会、東海大学竜野義幸氏、山口大学楮原京子氏、國富株式会社の潜水士の方々のご理解、ご協力を頂いた。また、本研究の一部は平成23～27年度科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号23220022 研究代表者池田榮史）の補助を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

1）気象庁，過去の気象データダウンロード，http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php
2）電気化学・電食防止研究委員会編（2011）電食防止・電気防食ハンドブック,pp.208-209
3）腐食防食協会編（1993）環境材料科学入門，p.273

日岡古墳の保存施設内における温熱環境の調査

Investigation of thermal environment inside the shelter for Hinooka tumulus

○犬塚将英（東京文化財研究所）、森井順之（東京文化財研究所）、石井茉衣（うきは市教育委員会）、吉田東明（福岡県教育庁）

○Masahide Inuzuka (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Masayuki Morii (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Mai Ishii (Ukiha City Board of Education) and Tomei Yoshida (Fukuoka Prefecture Board of Education)

1. はじめに

福岡県うきは市の若宮古墳群は3基の装飾古墳から構成される。そのうちの日岡古墳は、6世紀前半に築造された前方後円墳である[1)]。後円部にある横穴式石室の長さは約4m、最大幅は約3mであり、羨道部は閉じ込められている。石室の上半部は失われており、石室は地表面に向けて開口されている。昭和39年（1964）に鉄筋コンクリート製の保存施設が建設され（図1）、現在はこの保存施設の中で上から見下ろすような形で、石室内を見学することができる。

この保存施設では、特に冬季において壁面と天井面に発生する大量の結露水が問題点として挙げられる。装飾への影響や見学スペースのメンテナンスという観点から、改善が求められている。本研究では、結露が生じる原因の究明と対策の検討を目的として、実測とコンピューターシミュレーションによる保存施設内の温熱環境の調査を行った。

図1　日岡古墳の保存施設

2. 日岡古墳の保存施設内における温湿度及び壁面温度の測定結果

保存施設内の湿度は高い値に保たれていることから、外気の影響により壁面や天井面の温度が低くなった場合に結露が起こりやすい環境にある。この問題は特に冬季において顕著であり、装飾へ与える影響等が懸念されている。特に断熱性の低い窓については、2012年12月に保存施設の内側からパネルを貼りつけることにより改善を図った。この対策により、遮光、及びヤモリ等の生物の侵入やカビの発生を防止等の一定の効果があったが、結露の問題についてはまだ改善の余地があると考えられる。

発表者らは、2009年6月からT&D社製「おんどとり」とオンセット社製「ホボプロv2」を用いて、屋外、保存施設内、石室内の温湿度の計測を計測してきた。さらに本研究では、壁面や天井面において結露が生じる原因を定量的に調べるために、オンセット社製データロガー「U12-014」に銅－コンスタンタンの熱電対を外部入力として接続して、壁面温度の計測を2013年6月から開始した（図2）。壁面温度の測定を行った箇所は、東西の壁で1箇所ずつ、東西のそれぞれの窓の内側に貼られたパネルの表面で1箇所ずつ、天井で2

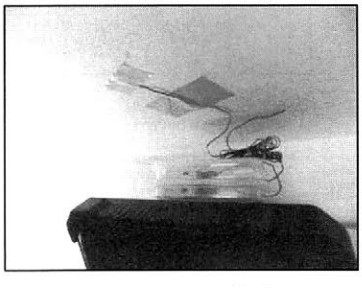


図2　天井面の温度測定

箇所の合計で6箇所である。

ここでは2013年6月から12月までに得られた計測データの一部を紹介する。図3上図は保存施設内部の温度と相対湿度のグラフである。保存施設内の温度は、日変動は小さいが、外気の季節変動に追随して推移していた。相対湿度は年間を通じて、ほぼ100%に近い値を示しており、特に壁面の温度が下がる冬季に結露が生じやすくなることがわかる。温度と相対湿度から露点を計算して、2013年12月における天井の表面温度との比較を行ったのが図3下図である。天井の表面温度は夜間に急激に下がり、保存施設内の空気の露点を大幅に下回ることから、結露が起こりやすい状況であることが確認できた。天井のみならず、壁面やパネルの表面温度についても同様の結果が得られた。

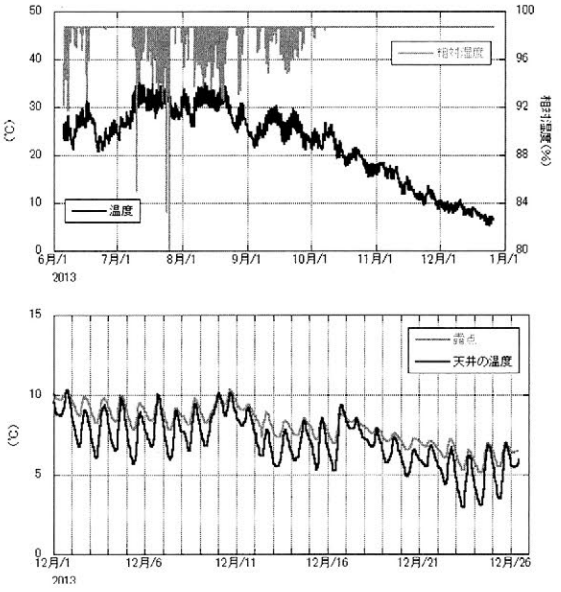


図3　保存施設内の温度と相対湿度（上図）、露点と天井表面温度との比較（下図）

3. コンピューターシミュレーションによる温熱解析の結果

保存施設の壁面及び天井面で発生する結露の主な原因は、壁及び天井の断熱性が充分でないことに起因すると考えられる。このことを定量的に検証し、今後の保存対策の具体的な方法の検討を行うために、コンピューターシミュレーションによる温熱解析を実施した。解析で用いたのは、清水建設技術研究所で開発された熱・換気回路網計算プログラム、NETSである[2,3]。図4は日岡古墳保存施設をモデル化した熱回路網を示す。

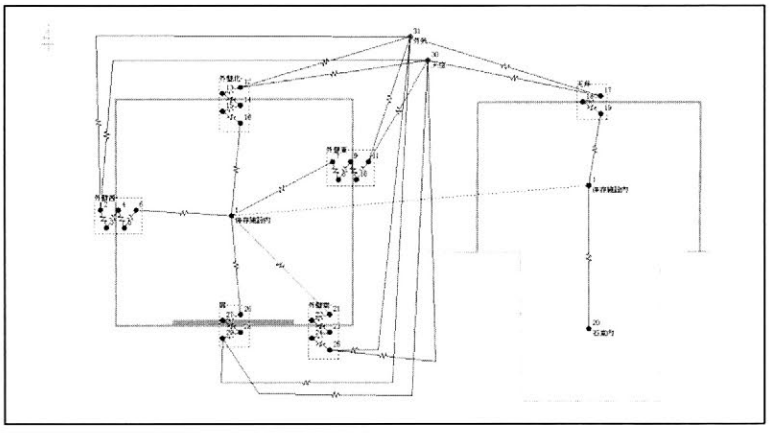


図4　日岡古墳保存施設をモデル化した熱回路網

本研究では、まず実測値と解析結果の比較を行い、解析手法の有用性の評価を行う。そして、保存施設の断熱性を向上させるための具体的な方法を考え、それらの方法の有効性を温熱解析によって予測を行い、保存対策の検討を進めていく予定である。

参考文献

1）『装飾古墳の世界　図録』、国立歴史民俗博物館　（1993）

2）奥山博康：熱・換気回路網計算プログラムNETS、伝熱WGシンポジウム「最近の建築伝熱シミュレーションと設計ツール」日本建築学会・熱循環小委員会・伝熱ワーキンググループ、63-70　（1998）

3）犬塚将英、龍泉寺由佳、石崎武志：石水博物館千歳文庫内の温湿度解析、保存科学、47、69-78（2008）

東日本大震災による弘道館記碑の被災原因調査と修復

Study of the Cause of Damage of Kodokan Stone Monument due to the Great East Japan Earthquake and its Restoration

○石崎武志（東京文化財研究所）、内田和伸（文化庁）、海老沢孝雄（(株) ざエトス）

○Takeshi Ishizaki (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Kazunobu Uchida (Agency for Cultural Affairs, Japan) and Takao Ebisawa (The Ethos Co., Ltd.)

1．はじめに

弘道館は江戸時代末期の 1841 年、水戸藩の 9 代藩主徳川斉昭公が建てた水戸藩の藩校である。弘道館記碑は寒水石と呼ばれる大理石で作られており、弘道館建学の精神を刻む。平成 23 年 3 月 11 日、東北地方太平洋沖を震源とするマグニチュード 9.0 の大地震が発生し、石碑が破損し、一部が崩壊した。所有者である文化庁は専門家の委員会を組織し、その指導のもと石碑の修復事業を開始した。被災原因の調査から、空襲で破損した碑身の補強のため、戦後、背面に設置されたコンクリート板が悪い影響を与えていたと判明した。

本弘道館記碑は、過去に空襲による被災を受けている。昭和 20 年 8 月 2 日に水戸市街をおそった空襲で焼夷弾が八卦堂を直撃し、八卦堂は全焼した。この際、記碑は亀裂や欠失など大きな被害を受けた。戦後しばらくは露天に曝されていたが、昭和 28 年に八卦堂の復元に併せて、弘道館記碑も応急の修理が行われた。この際に、碑身の両側面と上面を厚さ 45cm、背面は 30cm のコンクリートで包んだ。

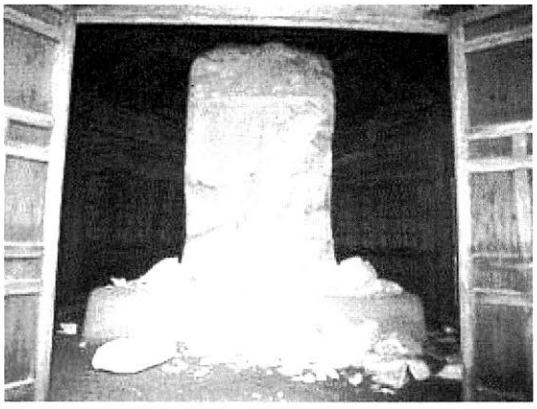


図１．大きな被害を受けた弘道館記碑

2．弘道館記碑の被災原因

水戸市の東日本大震災での震度は 6 弱、東面する記碑にとって左右方向よりも前後方向の揺れが大きかった。八卦堂はほとんど被害がなかったが、弘道館記碑は、碑身の各所に多数の亀裂が生じ、碑身中央部は右上から左下にかけて石塊や多数の石片となって崩壊し、台石の上や前面に散乱した（図１）。約 320cm の高さの碑心は 4cm ほど前掲し、背面コンクリートと台石を覆うコンクリートとの間には隙間が生じた（図２）。

被災原因は、①八卦堂の消失時に受けた熱で寒水石に亀裂が生じており、昭和

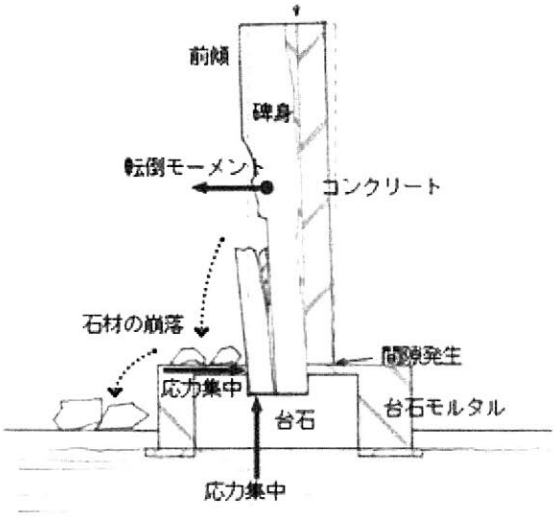


図２．　弘道館記碑の被災断面模式図

48年当時の修理技術では、亀裂の深い部分まで樹脂による強化はできなかったこと、②碑身背面のコンクリートは碑身の倒壊を防いだが、碑身に背後から寄りかかり、碑身前面下部に応力が集中して一部が崩落、周辺石材の崩壊を併発していたことが考えられた。

3．修復方法の基本的な考え方

修復方針は、破損石材の回収、周辺地盤の調査、八卦堂基壇発掘調査、碑身と台石の接続状況の確認を行い、被災原因を明らかにした上で弘道館記碑や八卦堂の外観も含め総合的に判断した。修復方針としては、背面のコンクリートなど不安定要因を取り除き、碑身そのものを強化して、建碑当初の構造的な安定を取り戻すこととした。また、本来的な構造とは異なるが、碑身と台石を接着し一体化を図って耐震化をすることにした（図３）。

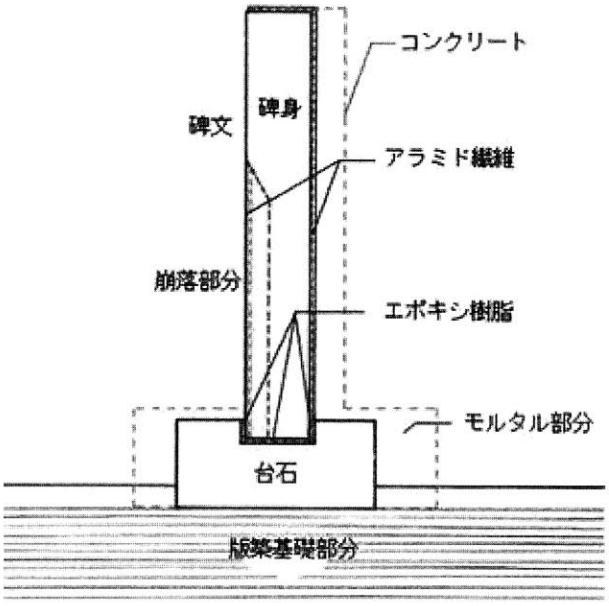


図３．弘道館記碑の修復模式図

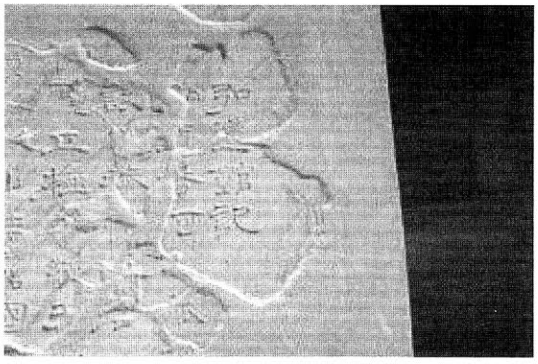


図４．修復された記碑の表面部分

4．弘道館記碑の修復過程

碑身の下半分はいったん取り外して解体した。解体しなかった上半分も亀裂が縦横に走り、過去の修理で生じた空隙もあって中粘度のエポキシ樹脂を注入して一体化を図った。大きな石塊をつなぎ合わせるには、双方にドリルで孔を開け、ステンレスボルトを挿入し、エポキシ樹脂で固定する方法を採った。碑身背面では、コンクリートを除去後、亀裂を樹脂で強化し、エポキシ系擬石材で平滑にした。そこに引っ張り強度のあるアラミド繊維を貼り付け、擬石材をぬり、研磨して仕上げた。アラミド繊維はスライスカットした碑文石を貼り付ける下地部分にも用いた。碑文面の修復では、碑文や余白部分の平滑面を持つ石は表面から 5cm で板状にスライスカットし、字形や罫線、被災前の拓本などを参考に位置を特定し、文面が平らになるように固定した（図４）。なお、修復工事は平成25年秋に終了した。

5．謝辞

本研究は、文化庁記念物課が組織した「弘道館復旧整備検討委員会」（鈴木暎一座長）の調査の一環として行ったものである。調査に協力を頂いた、鈴木暎一座長をはじめ関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

6．参考文献

内田和伸：東日本大震災による弘道館記碑の被災と復旧、月刊文化財 2，54-57，2014.

仙台市富沢遺跡保存館における遺跡保存の取り組み

The case study of The Sendai City Tomizawa Site Museum about the conservation of sites.

佐藤祐輔（仙台市富沢遺跡保存館）　奥西将之（鹿児島大学水産学部）

1．はじめに

仙台市富沢遺跡保存館は、富沢遺跡で発掘された２万年前の人類の活動跡と森林跡を保存・公開することを目的として建設された。地下展示室の遺構面は、地中とつながった状態で保存・公開されているため、地下水の影響を受け続け、様々な問題が生じてきた。その中でも、塩類の析出と緑色生物の発生が大きな問題としてあげられ、これまで種々の対策を試みてきた。

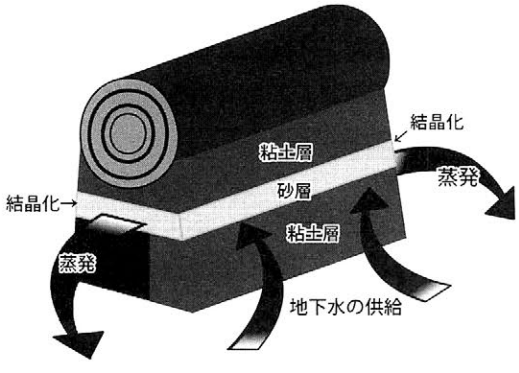
本報告では、開館から18年目を迎えた当館におけるこれまでの取り組みと課題について報告する。

2．塩類に対する対策

遺構面に析出する塩類は、成分分析の結果、硫酸カルシウムと硫酸マグシウムの２種類が確認されている。塩類の析出は開館当初から認められ、約１年でほぼ全面に析出した。現状では、前者が遺跡全面に、後者は土壌のクラックから析出している。

また、遺構面のみならず、樹木を支えている土壌の柱（以下「支持体」とする）にも析出しており、樹木への影響も看過できない。第１図は支持体の模式図であるが、地下水の供給が砂層部分で蒸発し、塩類が析出する。このことは、地下水が樹木へ供給されなくなる上、支持体自体の脆弱化を引き起こし、地震等の揺れによる倒壊・崩落の要因となる（第２図）。

塩類は遺跡を直接破壊するため、できる限り析出を抑えるよう対策を試みてきたが、土壌用薬剤（ER-002）では塩類析出を抑制することはできなかった。土壌の乾燥が析出を促進させていることから、現状では排水ポンプの稼動位置などを調整し、地下水位をコントロールすることで、土壌の湿性をなるべく保つようにしている。ただし、遺構面レベルは、地点によって異なっており、均一な状態を保つことが難しく、析出を完全に抑えることはできていない。



第１図　支持体の塩類発生模式図

第２図　地震で支持体ごと倒壊した樹木

３．緑色生物に対する対策

一方、塩類対策として地下水位を上昇させたことで土壌の含水率が高くなり、緑色生物の発生が顕著になってきた。遺構面には、来館者との間に遮断する設備を設けていないため、オープンな環境であり、恒常的な生物の侵入を防ぎきることはできない。

緑色生物自体は、塩類の析出に比べ遺構面および樹木に直接影響を与えないことから、上記のように塩類対策を優先させ、展示室内の湿度および地下水位を上昇させる措置をとってきた。しかし、ここ数年の間に発生範囲が広がり、景観上の問題が大きくなったため、その対策を本格的に検討しはじめた。

従来は、緑色生物の削り取りを行い、土壌用薬剤（ER-002）で処理を行ってきたが、再発生までの期間が短い上に、削り取りによる遺構面のレベル低下が懸念された。そのため、薬剤による処理を検討し、（株）C&P 研究所が開発した EC-X（水酸化カリウム・タンパク質分解酵素）を散布することとなった。これにより、削り取りを行わず処理が可能になり、これまでよりも再発生の期間を長くすることができた。

ただし、この処理方法は対処療法的な措置であり、根本的な解決策にはなっていない。本来は、生物が発生・生育しにくい環境を整えることが重要である。これまでも地下水位や温湿度など展示室環境の基礎データ収集は行ってきたが、緑色生物の生育環境を知るためのデータは不足していた。基礎データの収集には時間を要することもあり、現状の処理を継続しながら今後の方向性を検討している。

その第一歩として、遺構面に発生している緑色生物の同定を行った（佐藤・奥西 2014）。目視および顕微鏡観察では、数種類の緑色生物が観察され、発生地点の環境条件（土壌含水率や照度など）の相違により異なる生物が生育していると考えられた。肉眼による同定は困難と判断されたため、計７地点からサンプルを採取し、DNA 分析を行った。

分析は奥西が PCR-DGGE 法を用いて真核微生物の群集構造解析を行い、おおむね３種類（*Watanabea reniformis*、*Monodus* 属、*Printzina* 属）の微細藻類が確認された。各微細藻類は、展示室内で分布も異なる傾向にあり、それぞれ生育環境が異なると考えられる。今後は、属種名など明らかになった情報をもとに、培養・分離を試み、生育条件の基礎データ収集を行い、増殖阻害機構の構築を試みた実験を行う予定である。

４．結語

以上、当館の遺跡保存の取り組みについて簡単に報告した。地中とつながった遺跡は、外部からの様々な要因によって影響を常に受け続ける、いわば「生もの」であり、その時々の変化にあわせた対応が迫られる。露出展示による遺跡の保存は、公開してからが本格的なスタートと言っても過言ではなく、問題意識を持った維持・管理が重要である。今後も従来行ってきた保存方法だけではなく、より良い方法を模索していきながら、積極的な情報発信も含め、「保存館」としての役割を担っていきたい。

※参考文献

佐藤祐輔・奥西将之 2014「仙台市富沢遺跡保存館の地下遺構面に発生する緑色生物の DNA 分析」『地底の森ミュージアム・縄文の森広場研究報告 2013』　仙台市富沢遺跡保存館・仙台市縄文の森広場

アヤ・イリニ聖堂内部の保存環境に関する調査

Environmental condition in Hagia Eirene, Istanbul, Turkey

○佐々木 淑美(日本学術振興会特別研究員ＰＤ，東京文化財研究所)，
吉田 直人(東京文化財研究所)，小椋 大輔(京都大学)，安福 勝(近畿大学)，
水谷 悦子(京都大学)，石崎 武志(東京文化財研究所)，
○Juni Sasaki (JSPS Research Fellow, National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Naoto Yoshida (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Daisuke Ogura (Kyoto University), Masaru Abuku (Kinki University), Etsuko Mizutani (Kyoto University)
Takeshi Ishizaki (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめにーアヤ・イリニ聖堂についてー

現在のアヤ・イリニ聖堂(現アヤ・イリニ教会博物館、トルコ共和国イスタンブール、以下「アヤ・イリニ」、写真1)は、ユスティニアヌス1世 (Justinianus I, 在位527－565) によって548年に再建された第二次聖堂である。隣接するハギア・ソフィア大聖堂と同時代の建築であり、地震によるドーム崩落や機能の拡張など履歴に類似点も多い[1]。通常は非公開であるが、1980年以降は年に40～50回ほどコンサートのために公開･使用されている。2010年からコンサートの開催が増えたことで、施設としての安全性の確保とともに堂内環境の保守、そして今後の保存修復の実施に向けて、現状把握とこれをもとにした保存方針の策定を早急におこなう必要が生じた。そこで筆者らは、2013年からアヤ・イリニ聖堂の現状に関する総合調査を開始した[2]。本会では、2013年9月～11月に現地で実施した第1回環境調査の結果をもとに、コンサートによる堂内環境への影響と内壁面からの塩類の析出状況を報告する。

写真1　アヤ・イリニ聖堂外観

2. 堂内の温湿度の変動ーコンサート開催による影響ー

まず、堂内の温湿度変動を評価する目的で、堂内外各所に合計14個の温湿度データロガーを設置した。ここでは2013年9月17日～10月23日の環境測定データをもとに、コンサートによる堂内環境の変化について予備的な考察を述べる。

コンサートの開催日とそれ以外の日の温湿度変動を比較すると、アプシス (コンサート時に演奏や合唱、オペラの演者が並び、2階南北側廊からスポットライトが当てられる場所) において、10月11日のコンサート開催時間に当たる夕方～夜にかけて、明確な変化がみとめられた (図1)。

平常時、アプシスの温度、相対湿度、絶対湿度は、外気のそれらと比べ、昼夜問わず変動が小さく安定した状態を維持している。しかし、コンサートのための準備が始まった直後の正午頃に、相対湿度が高まっている。その後、鑑賞者の入場が始まる午後4時頃からは、温度が約2℃～4℃上昇し、相対湿度は約5%低下している。そして、コンサートが終了し退場が完了する午後23時までにアプシスの温度はピークとなる。この時、温度の上昇とともに絶対湿度も高くなっていることから、アプシスで演奏あるいは合唱をする演者らによる熱水分発生や演出のための照明による熱水分の発生の影響であると考えられる。

コンサート終了後、アプシスの温度は徐々に下がり始め、翌日午前4時頃には平常時の安定した状態に戻ることがわかった。この温湿度の上下動が、コンサートに起因するものであることは明らかであり、また夏季に集中してこの温湿度の上下動を繰り返すことが、堂内の環境にどの程度の影響を及ぼすものであるかについて、今後の調査で鑑賞者・演者の人数、換気交換量の計測をおこない熱水分量を試算するなど、検討する必要がある。

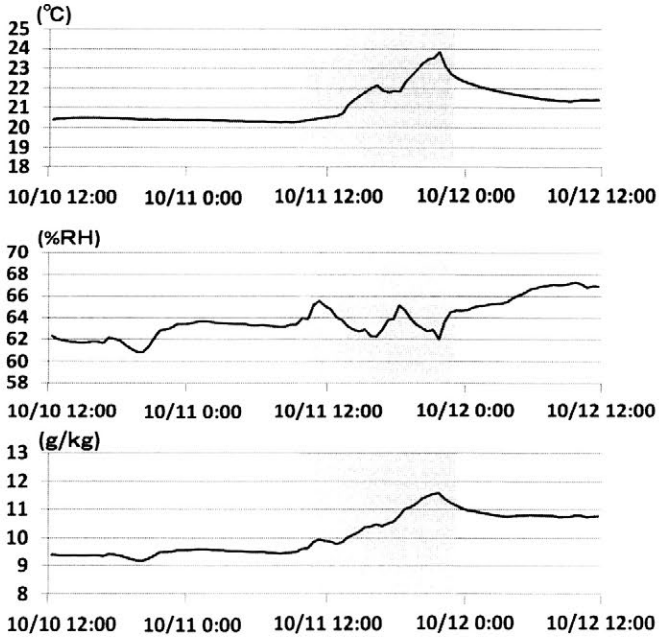


図1　コンサート開催日　10月11日
アプシスの温度、相対湿度、絶対湿度の変動

3. 内壁からの塩類析出

今回の調査では、特に塩類析出が進行している2階北西隅から計11点、アトリウム回廊から計22点の析出塩サンプルを採取し、X線回折分析法 (XRD) による定性分析をおこなった。その結果、析出している塩は一様に、硫酸ナトリウム (Thenardite) であることがわかった。ただし、2階北西隅の柱の右部および右側面上部から採取した3点のみ硝酸ナトリウム (Nitratine) であった。この柱は、左側 (西側) が8世紀ドーム崩落後の修復であるのに対して、硝酸ナトリウムが析出している右側はオスマン・トルコ時代の修復とされている[3]ことから、壁材が異なる可能性が高い。

また、ナルテクスと接続する東壁面から採取した計2点の析出塩については、トロナ (Trona, $Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$) である可能性を示唆する分析結果が得られた。回廊の一部については、コンクリートによる修復の可能性が疑われているが、正確な時期や作業内容は不明であるため、コンクリート使用の有無やどの部位にどのような壁材が使用されているかは今後の分析を通して検討する必要がある。

4. まとめと今後の展開－保存上の問題とその対策－

コンサート開催により、アプシスにおいて明らかな温湿度の上昇がみとめられた。この現象が堂内の保存環境、とりわけ壁面やアプシス上部に残るモザイク壁画の劣化にどの程度の影響を及ぼすのかについては、今後の長期モニタリングと観察を継続することで検討を進めていきたい。2014年1月には急きょコンサートでの使用およびドーム下部への人の立ち入りが禁止された。これは今後実施される予定の修復に向けた一般公開のためとされているが、その根拠ならびに修復実施計画は明示されていない。アヤ・イリニでのコンサートの是非も含め、保存管理と修復計画策定の一助となるよう、本年度も調査を継続していく。

最後に、本研究は、平成24年度学術振興会特別研究員研究奨励費の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部である。また、現在アヤ・イリニを管理するトプカプ宮殿の館長ならびに学芸員の方々の理解と協力を得て実施することができた。ここに記して感謝申し上げます。

1) Eyice Semavi, 1984, *Ayasofya* 1, pp.33-35.

2) 佐々木　淑美、小椋　大輔、吉田　直人、安福　勝、石崎　武志, 2014, アヤ・イリニ聖堂の保存環境に関する調査報告, 保存科学, 第53号, pp.177-194

3) W.S.George, 1913, *The church of Saint Eirene at Constantinople*, pp.64-78.

宇宙線ミューオンによる古墳埋葬施設の解析

An analysis of burial facilities of Kofun mounded tombs by cosmic rays: μ (muon)

○石黒勝己(名古屋大学)、西藤清秀(奈良県立橿原考古学研究所)、松田度(大淀町教育委員会)

○Katsumi Ishiguro(Nagoya University), Kiyohide Saito(Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture), Wataru Matsuda(Oyodo Town Board of Education)

目的:

日本の国家形成を考えるうえで、大型古墳の研究は欠かせないものである。しかし、現在のところその多くで古墳への立ち入り調査が出来ない。本研究ではミューオンラジオグラフィーという素粒子物理学を応用した手法で、古墳に立ち入ることなく古墳内部の透視画像を得る。今回、埋葬施設が既知の石神古墳でテストを行うため、2014 年 3 月から 1 か月間、検出器、原子核乾板を設置した。石神古墳は、奈良県吉野郡大淀町大岩地区の丘陵頂部に築造された径 22.5m、高さ約 4.3m の 7 世紀の円墳である。石室の形態は盆地内の横穴式石室に共通する特徴である。

イントロダクション:

物質の内部を非破壊で外部から検出する方法としてレントゲン写真があり、特に医療現場で 広く用いられている。これは肉よりも骨の方が密度が高く X 線が透過しにくいことを利用して体内画像を得るものである。ミューオンラジオグラフィーでも原理はこれとほぼ同じだが、X 線の代わりにミューオンという素粒子を用いる。(図 1) レントゲン写真において X 線点光源を人工的に作らなくてはいけないのに対し、ミューオンは宇宙線として常に空から降り注いでいるため天然のものを用いられる。また、X 線は透過力が弱いため人体程度の大きさのものしか内部透視できないが、ミューオンは透過力が高いため 1km 程度の大きさのものまで内部透視可能である。ただしミューオンは空のあらゆる場所からあらゆる飛来角度で降ってくるため、検出器上での検出位置に意味はない。画像を得るにはミューオンの角度を 1 本 1 本検出し、見たい物質のどこを貫通してきたかという位置情報に焼き直さなければならない。

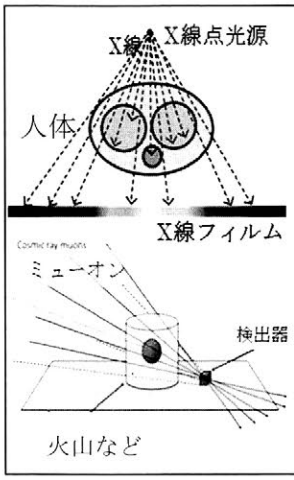


図1. レントゲン写真(上)とミューオンラジオグラフィー(下)のイメージ。レントゲンではX線フィルムに内部構造が投影される。ミューオンラジオグラフィーでは検出されたミューオンの角度情報から画像を解析的に求める。

セットアップ:

石神古墳外部、中心から約 16m のところ(図 2, 丸の位置)に、原子核乾板(10cm*12cm)を設置した。6 枚重ねて立てて設置し、検出効率を担保する。原子核乾板は素粒子の飛跡も写る高性能な写真フィルムで、レコードされたミューオンの角度は顕微鏡ステージで 1 本 1 本自動的に読み取る。(図 3)

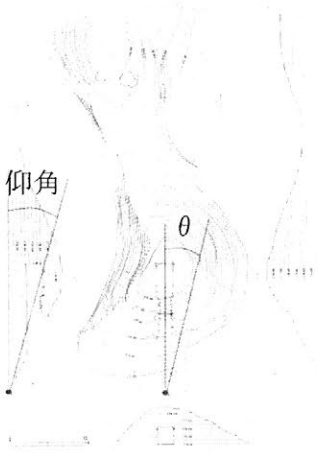


図 2:設置位置

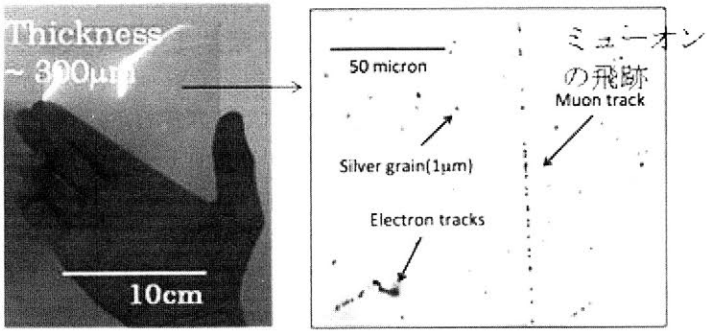


図 3:原子核乾板とその顕微鏡画像

結果:

図 4 のような粒子数の角度分布を得た。粒子数が多い部分が物質量の低い部分である。石室の空洞を通ってくる角度の粒子数が多くなっているのがわかる。

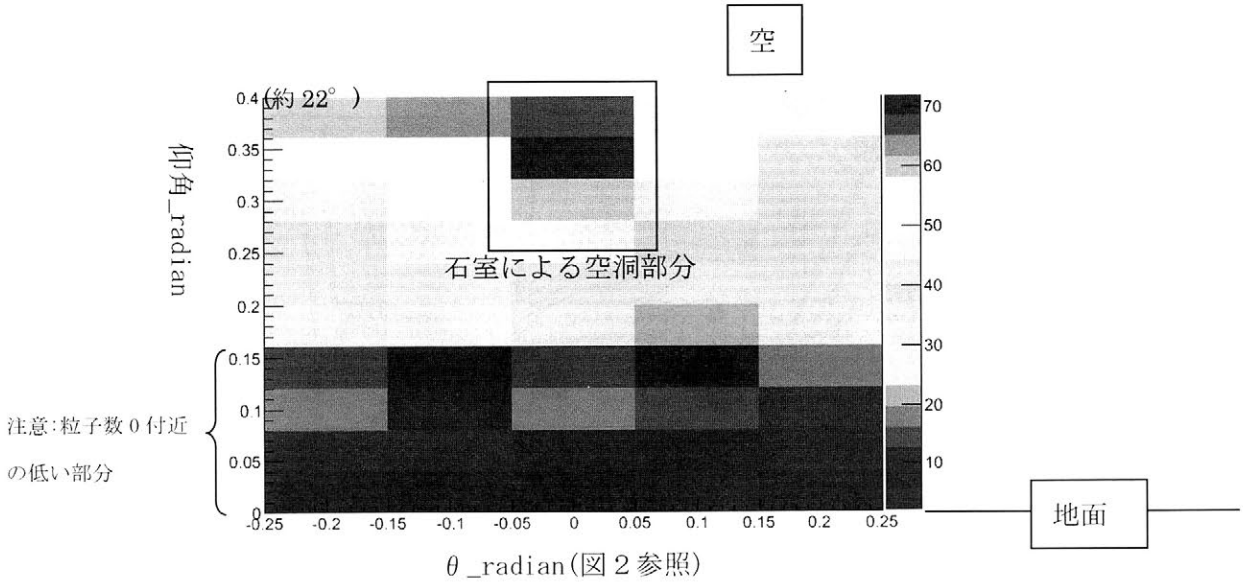


図 4:ミューオン粒子数の角度分布

参考文献:Development of a new automatic nuclear emulsion scanning syatem, SUTS,with continous 3D tomographic image read-out. K.Morishima, T.Nakano, JINST 5:P04011,2010 [LNGS]

一貴山銚子塚古墳の地中レーダ探査

Ground Penetrating Radar Survey at Ikisan-Choshizuka Tomb

○水永秀樹(九大・工学研究院), 田中俊昭(九大・工学研究院)
○Hideki MIZUNAGA(Kyushu University), Toshiaki TANAKA(Kyushu University)

1. はじめに

福岡県糸島市の一貴山銚子塚古墳は、加布里湾から約 1.5km 離れた、長野川流域の洪積台地上に立地する糸島地方最大の前方後円墳である。この古墳は四世紀後半に築かれたものと推定されており、「金の銚子が埋まっている」という地元の伝説から銚子塚古墳と呼ばれている。昭和 25 年に福岡県教育委員会と日本考古学協会による発掘調査が行われ、後円部墳頂のほぼ中央から竪穴式石室が確認された。竪穴式石室の全長は 3.4m、幅は 1.4m、深さが 0.8m で、竪穴式石室としては全長が短いのが特徴となっている。竪穴式石室には木棺が納められており、その内外から曲玉や銅鏡、剣や槍などの多くの副葬品が出土している。

この時代の前方後円墳では、後円部に加えて前方部にも埋葬施設が存在する可能性があることが知られている。しかし、一貴山銚子塚古墳は国指定史跡で簡単には発掘調査が実施できないため、前方部に関する調査はこれまでほとんど行われていない。そこで今回は、発掘せずに非破壊で調査が可能な地中レーダを用いて一貴山銚子塚古墳の前方部を中心とした遺跡探査を実施した。

2. 地中レーダ探査の概要

図 1 に一貴山銚子塚古墳の地形図を示す。一貴山銚子塚古墳の墳丘の全長は 103m で、主軸は南北方向となっている。後円部の直径は 61m で、その高さは 13m であるが、地形図からもわかるように後円部の中央部分が大きく削り取られている。前方部の幅は 31m で、高さは後円部より約 2m 低くなっている。今回の調査では、一貴山銚子塚古墳の前方部の中心付近で地中レーダ探査を実施した。

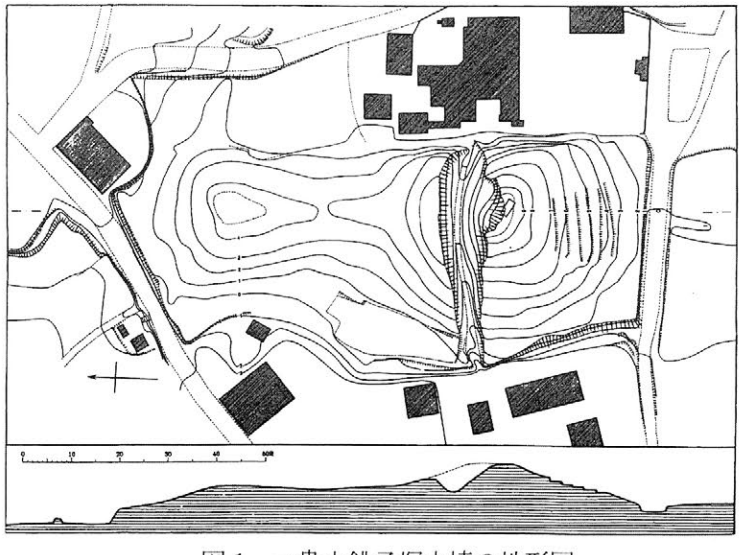


図 1. 一貴山銚子塚古墳の地形図

地中レーダによる前方部の遺跡探査は、平成 25 年 2 月 27 日に実施した。図 2 左図に前方部の調査範囲を示す。調査範囲は 8.5m×13m の矩形領域であるが、樹木や切株のため測定できない箇所があったため、この範囲内を 3 つの区域(図 2 右図)に分けて地中レーダ探査を実施した。調査区域の大きさはそれぞれ、3m×9m、3.5m×9m、4m×8m で、調査区域の一部は重なっている。

今回の調査では、Noggin Smart Cart System の 250MHz のアンテナを使用して探査を実施した。測線は南北方向に展開し、各測線の間隔は 0.25m である。また、電磁波の伝播時間を深度に変換する際に必要な電磁波伝播速度には、地中レーダの反射断面から求めた 0.07m/nsec を用いた。

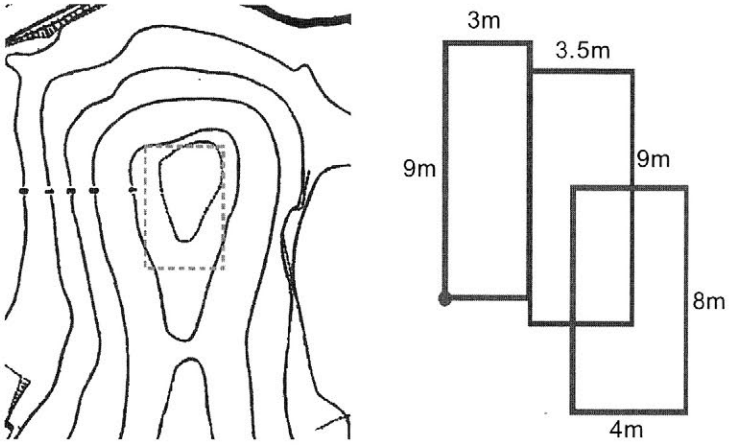


図 2. 前方部の調査範囲と 3 分割した調査区域

3. 深度スライスの解析結果

前方部で測定した全測線のデータを使用して、深度毎の電磁波反射強度の水平分布図を作成した。図 3 には浅部の平面図(左と中央)と深部の平面図を示す。これらの図からわかるように、浅部では A～C の 3 箇所の局所的異常が、深部では D の場所に局所異常が検出できた。これらの 4 箇所の局所異常の規模は直径が 0.5m から 0.75m 程度であり石室の存在を示唆するものではないが、何らかの副葬品が埋設されている可能性は考えられる。

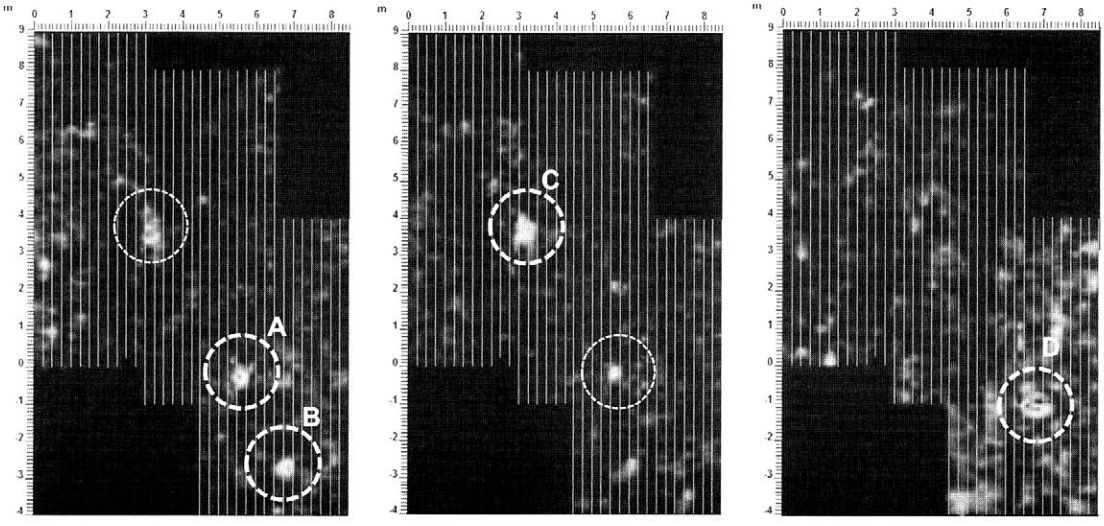


図 3. 前方部の深度スライス(左：0.5～0.55m, 中央：0.6～0.65m, 右：1.1～1.15m)

4. まとめ

一貴山銚子塚古墳の前方部の探査を目的とした地中レーダ探査を実施した。遺跡探査にはカート式の地中レーダ探査装置を用いたので、調査領域を迅速に探査することができた。今回の地中レーダ探査で検出できた埋設物と思われる局所異常は合計 4 箇所である。ただし、正確な測量を実施していないため、局所異常の相対的な位置関係は正しいものの、実際の位置とは多少ずれている可能性がある。

重要文化財「旧米沢高等工業学校本館」の中央屋根部屋の柱の超音波探査

Ultrasonic Inspection of Pillars of the Center House Attic of the Important Cultural Property "Main Building of the Former Yonezawa Techincal College"

○足立和成(山形大学)，藤井尋也（同左），柳田裕隆（同左），星野智紀（同左）
西脇智哉（東北大学），渡辺裕二（拓殖大学）

○Kazunari Adachi, Hiroya Fujii ,Hirotaka Yanagida, Tomonori Hosino (Yamagata Univ.),
Tomoya Nishiwaki (Tohoku Univ.), Yuji Watanabe (Takushoku Univ.)

1．はじめに

山形県米沢市の山形大学工学部キャンパス内にある国指定重要文化財「旧米沢高等工業学校本館」（以下「本館」）では、東日本大震災によって生じた損傷並びに経年劣化した部分を補修する保存修復工事が２０１３年（平成２５年）９月から行われている。筆者らはこの機会を捉え、この建物の柱の劣化の状況を調査すべく、２０１４年1月７日と８日の両日にかけてその超音波探査を行った。

2．「旧米沢高等工業学校本館」（国指定重要文化財）について

この本館は１９１０年（明治４３年）７月に竣工した Fig.1 に示すようなルネッサンス様式を基調とする擬洋風木造二階建の建物（建築面積１３０５．８㎡）で、１９７３年６月に国指定重要文化財１８８４号になっている。１９７９年１１月からの４年間にわたる文化庁直轄の保存修復工事を経て、２０１１年３月１１日の東日本大震災でその一部が破損するまで、一般に公開されていた。

Fig.1　国指定重要文化財「旧米沢高等工業学校本館」北向き正面（中央屋根部屋の外観）

3．探査対象となった柱

超音波探査を行ったのは、２階中央屋根部屋内の仮設通路わきの 148mm 角のスギの柱４本である。Fig.2 に探査対象となった柱の配置図を、Fig.3 から Fig.6 にはそれらの写真を示す。そのうちの一本については、超音波音速ＣＴの手法による断面の可視化を行った。

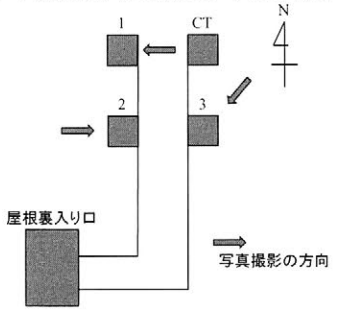


Fig.2 中央屋根部屋内の柱の配置図。矢印は Fig.3 から Fig.5 までの写真撮影の方向。

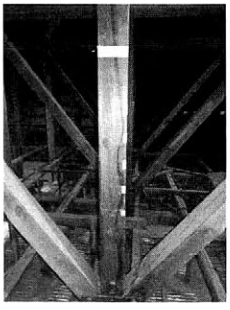


Fig.3 柱１

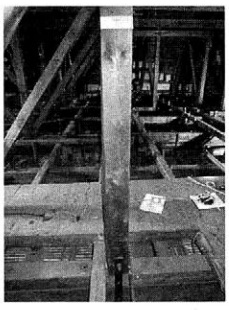


Fig.4 柱２(表面に割れ)

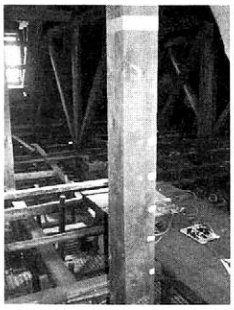


Fig..5 柱３(節多数)

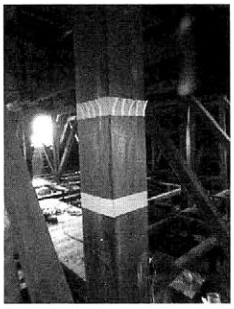


Fig.6 超音波 CT 像を再構成した柱

4．探査装置の構成及び画像再構成手法

探査装置の構成の概要を Fig.7 に示す。超音波音速 CT における超音波の伝搬時間（Time of Flight　以下 TOF）同定の手法は既発表の「振幅二乗総和方式」を採用している[1]。既発表の手法に従って、受信信号を取り込む時間区間（以下「ウィンドウタイム」）は 200～400μs、全ウィンドウタイム内の振幅二乗積分値に対する到着時間同定のための振幅二乗積分値の閾値の割合は、0.1～0.5%の範囲で変更した。

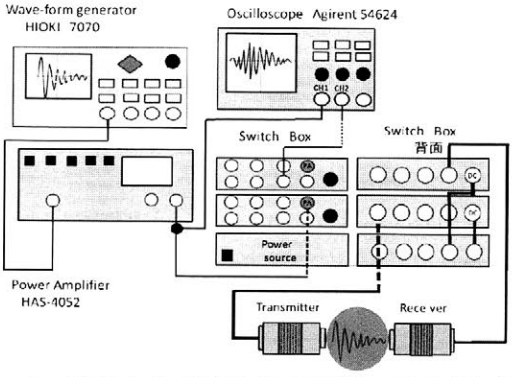


Fig.7　使用した超音波探査装置の構成（佐藤佑介氏の山形大学修士論文より引用）[2]

5．探査結果

Fig.2 の柱１から柱３までは、「差し渡し法」による簡便な超音波探査[3]を行なった。これは柱を挟んで対向させた超音波の送波器と受波器の間を伝搬する超音波パルスの伝搬時間と減衰を観察し、異常部の有無を判断するものである。

その結果、柱１と柱２については、超音波の伝搬時間は一様でその減衰も小さく、割れなどによる異常は特に見られなかった。柱３では節が送受波点にある場合に受波信号に非常に大きな減衰が見られたが、音波伝搬時間には大きな変化は見られなかったので、この柱にも深刻な劣化は生じていないと考えて良いだろう。

Fig.2 で CT と表示されている柱の同一断面の超音波音速 CT 画像の一部を Fig.8 から Fig.10 に示す。図中矢印は北の向きを表している。同一の閾値設定（0.2%）においては、ウィンドウタイムを 300μs に設定した時だけ、再構成画像上の柱内部の音速分布がほぼ一様となり、他の閾値設定でも同様であった。この原因についてはまだよく分かっていない。

また、図は白黒のため分かり難いが、全ての場合について、柱の北東方向の角の表面にだけ、音速が非常に低い異常部が集中している。しかし、現実の柱の表面には、これに対応する顕著な劣化は観察されていない。

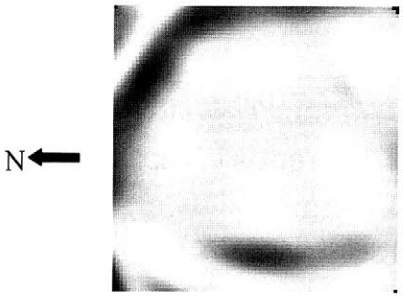


Fig.8 ウィンドウタイム 200μs、TOF 同定 振幅二乗積分閾値 0.2%の時の柱の CT 画像

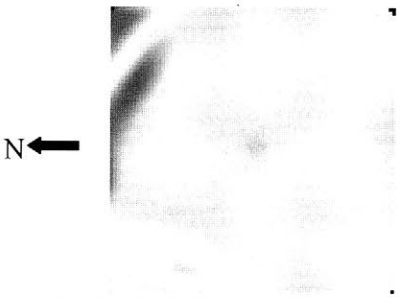


Fig.9 ウィンドウタイム 300μs、TOF 同定 振幅二乗積分閾値 0.2%の時の柱の CT 画像

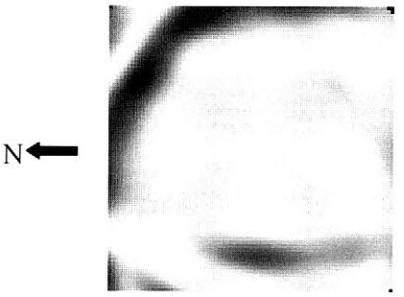


Fig.10 ウィンドウタイム 400μs、TOF 同定 振幅二乗積分閾値 0.2%の時の柱の CT 画像

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)（課題番号 25242023）の補助金を得て行われた。また、(株)松井建設東北支店の山田淳氏にはこの探査実験に多大のご協力を頂いた。ここに記して深謝申し上げる。

参考文献

1) 足立和成他「文化財建造物探査用超音波音速 CT 装置における音波伝搬時間同定の新手法」，日本文化財科学会第３０回大会研究発表要旨集, p.340, (2013)
2) 佐藤佑介「建造物探査用の超音波音速 CT 装置の開発」，山形大学修士論文（2013）
3) 坂本隆宏他「時国家住宅の超音波探査」，文化財と探査（日本文化財探査学会誌），Vol.6, No.1, p.26,(2005)

茨城県石岡市舟塚山古墳の物理探査　—前方部墳頂—

Geophysical Prospection of Funatsukayama Mounded Tomb, Ishioka City, Ibaraki Prefecture, Japan　- the front square part of its keyhole shape -

○千島史彦(東京工業大学), 亀井宏行(同左), 藍野健大(同左), 山本達也(同左), 木村真大(同左), 田中裕(茨城大学), 佐々木憲一(明治大学)

○Fumihiko Chishima, Hiroyuki Kamei, Takehiro Aino, Tatsuya Yamamoto, Masahiro Kimura (Tokyo Institute of Technology), Yutaka Tanaka (Ibaraki University), Ken'ichi Sasaki (Meiji University)

1. はじめに

茨城県石岡市にある舟塚山古墳は東日本で2番目の大きさを誇る前方後円墳である．前方部の西方に霞ヶ浦と筑波山を望む台地に位置している。その規模は，墳丘全長が186m，後円部は径90m，高さ11m，前方部は幅99m，高さ10mである．築造は5世紀前期から中期と推定されている．

2012年9月に後円部墳頂および前方部墳頂において，内部施設の確認のために地中レーダ探査と磁気探査を行った．後円部の探査結果については，長大な埋葬施設（東西14m，南北6m）の存在が推定されることを日本文化財科学会第30回大会(2013)において報告した．本発表では，引き続いて解析を進めた前方部探査の結果について報告する．

2. 探査の概要

前方部に設定した探査領域（40m(X)×20m(Y)，主軸方向X）を図1に示す．地中レーダ探査ではSensors&Software社製PulseEKKO proの250Mhzアンテナを用いた．測定は，0.5m間隔の測線配置として探査領域内をXとYの両方向に走査した．磁気探査では，Geometrics社製のセシウム磁力計G-858 MagMapperを用いて，測線配置を0.5m間隔としてX方向に走査した．

3. 探査結果

図2に地中レーダ平面図を示す．図2.右(57nsec, 概算深度1.9m)では主軸方向に延びる強い反射領域が見られ，これが埋葬主体であると考えられる．この浅部，図2.左(11nsec, 概算深度0.4m)では(X, Y)=(16, 9)付近を中心とした半径5ー6m程の環状パターンが見られ，これは墓壙の縁であると思われる．埋葬主体らしき反射領域を主軸方向(X)に走査した地中レーダ断面図（一例として図3に示す）で見てみると，主軸方向に長さが約8m(X=12ー20)あることがわかる．X=0方向に向かって下がっているが実際には地形が傾斜しているので，ほぼ水平な反射像といえる．また，直交方向(Y)に走査した断面図（図4に2断面示す）で見てみると，この反射像は幅が約2.5mあり，その頂点付近が窪んだ形状をしていることがわかる．このような窪んだ形状は後円部探査での反射像においても見られている．

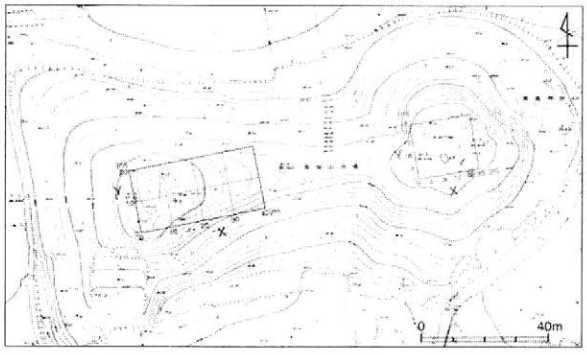
また，今回の探査領域では地下にある2つの地層境界面が検出された（例として図5に示す）．図5ではX=40の35nsec(概算深度1.2m)付近および85nsec(概算深度2.8m)付近から，X=0方向に向かって下がっていく2つの境界面があることがわかる．実際の地形の傾斜を考えると，ほぼ水平な境界面が存在すると考えられる．

磁気探査については，今回の探査領域では顕著な磁気反応は得られなかった．

4. まとめ

地中レーダ探査の結果，舟塚山古墳の前方部墳頂において，長さ8m，幅2.5mの長大な埋葬主体と，その墓壙と考えられる反応が得られた．また，異なる深度に2つの構築面が存在することを示唆する反応も得られた．

図1. 墳丘測量図と探査領域



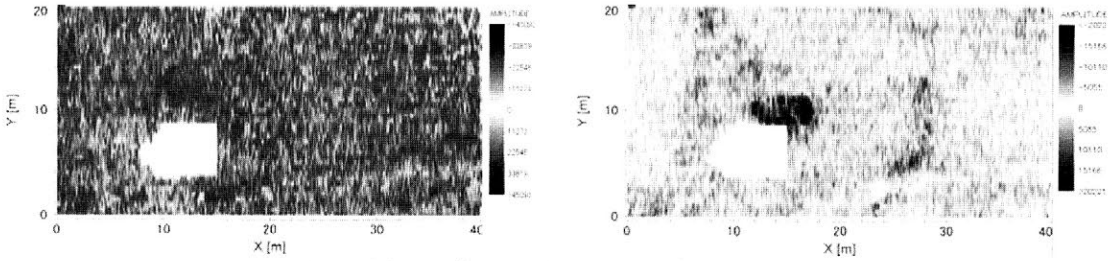


図2. 地中レーダ平面図（左:11nsec　右:57nsec）

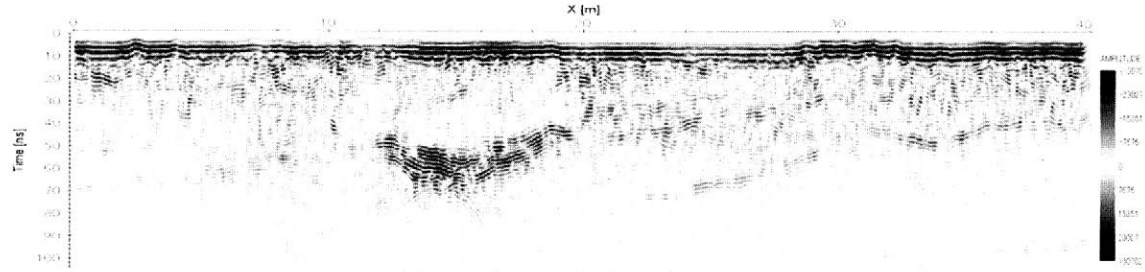


図3. 地中レーダ断面図（X方向に走査：Y=9.5m）

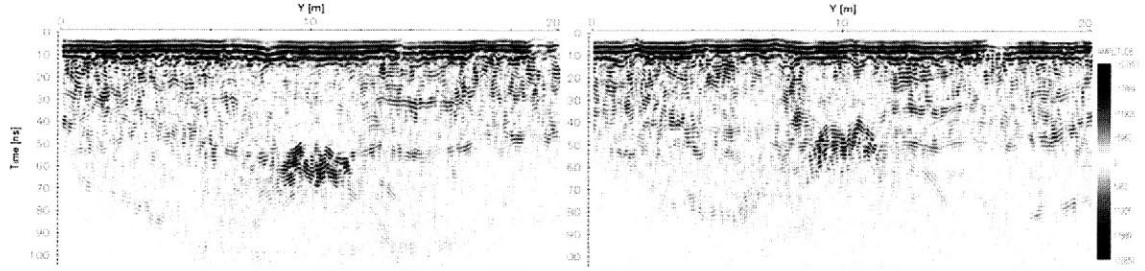


図4. 地中レーダ断面図（Y方向に走査　左:X=14.5m　右:X=17.5m）

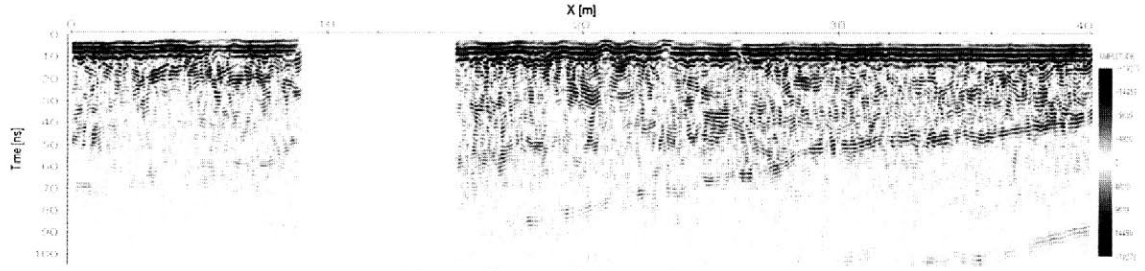


図5. 地中レーダ断面図（X方向に走査：Y=7.5m）

参考文献 石岡市教育委員会 1978：舟塚山古墳群（10号・12号）発掘調査報告書Ⅱ

本報告は，明治大学大学院研究科共同研究「文献・埴輪からみた6世紀出前葉における中央・地方の政治的関係に関する研究」の一部を含む.

藤原宮・京跡出土瓦の胎土分析

Clay analysis of roof tiles excavated from the Fujiwara Capital site

○降幡順子(奈良文化財研究所)、森先一貴(同)、清野孝之(同)

1. はじめに

瓦の生産地と消費地の双方において同一の軒瓦が出土している場合、型式比較によって生産地のひとつを推定することが可能である。しかし、瓦窯が不明である、軒瓦が出土していない等の場合は、丸平瓦の製作技法や胎土の肉眼観察による判断に頼らざるを得ない。これまで藤原宮出土瓦の産地推定は、瓦窯資料との型式比較と胎土の肉眼観察によって進められてきたが、現在でも生産地不明の型式があり、また軒瓦がないために生産地を明らかにできない場合がある。そこで、今回は型式比較と肉眼観察によって分類されている資料に対して、蛍光X線分析を実施し、従来の手法とのクロスチェックをおこなった。さらに分析結果を利用し、生産地不明瓦の産地推定を試みたので、その結果について報告する。

2. 分析資料

今回分析に供した資料は、藤原宮所用瓦、大官大寺跡・本薬師寺跡出土瓦など62点で、そのうち生産地不明の資料は12点である。本分析は、微量ではあるが破壊分析であるため、軒瓦は型式が明らかで、残存度ができるだけ低い資料を選択している。試料採取は瓦当面以外で製作技法の観察などに支障をきたさない部分でおこなった。

3. 分析方法

瓦に付着している埋土を除去したのち、胎土を 5～10mg 採取し分析試料とした。胎土分析は微少量の資料に対して実施していることから、ここで得られた化学組成は主にマトリックス部の特徴を示していると考える。使用した装置は蛍光X線分析装置EAGLEⅢ(EDAX製)、測定条件は管電圧30kV、管電流100μA、X 線照射径 50μm、測定時間300秒、ターゲットRh、真空雰囲気中である。定量分析の標準試料には産業技術総合研究所地質調査総合センター岩石標準試料 JB-1a、JF-1、JF-2、JG-1a、JG-3、JGb-1、JGb-2、JR-1 および窯業協会標準試料(R701)を用い、検出元素の各酸化物の合計が100wt%になるよう規格化しFP法によって定量値を求めた。分析は一資料に対し3～6回測定し平均値をとっている。

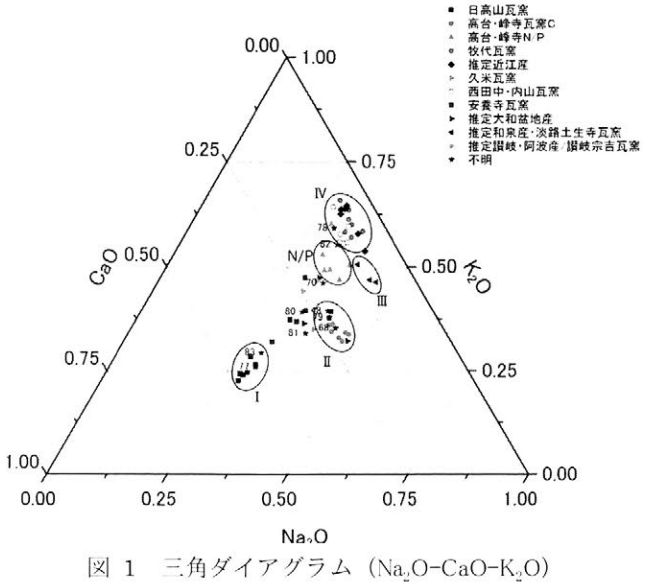


図 1　三角ダイアグラム (Na₂O-CaO-K₂O)

4. 結果とまとめ

胎土の蛍光X線分析結果から、三角ダ

イアグラム(Na_2O-CaO-K_2O)を作成した(図1)。これは規格化により3成分の和が1となるように表示している。図から日高山瓦窯産とされてきた資料は領域Ⅰとするまとまりを持つことがわかり、他資料との判別が可能である。高台・峰寺瓦窯産とされてきたものは、大きく 2 つに大別でき、このうち領域Ⅱとしたまとまりを持つ資料は、高台・峰寺瓦窯産のなかでクサリ礫を含む胎土で C グループと呼称している資料群と一致し、一方の N/P グループと呼ばれる石英粒を多く含む資料群は領域Ⅱから外れ散在する傾向がみられる。高台・峰寺瓦窯産とされる C と N/P の二つの胎土グループは化学組成で区別できるといえる。淡路土生寺瓦窯産と推定和泉産は領域Ⅲを構成し近接しているが、この二つの生産地が類似する結果となった理由は不明である。牧代瓦窯産と推定近江産、西田中・内山瓦窯産は高台・峰寺瓦窯N/Pグループの近傍に領域Ⅳを構成する。これらは図 1 では明瞭に分布範囲が分かれないため、別の元素(K_2O-Fe_2O_3)を用いて判別を試みた(図 2)。西田中・内山瓦窯産と推定近江産は値がまとまりを持ち、牧代瓦窯産は 2 つのタイプにさらに分類できることが新たに判明した。牧代瓦窯産Ⅱは、Ⅰよりもやや灰色がかる胎土群で、酸化鉄含有量がより多いこと、さらに顕微鏡観察から径が0.3mm程度の砂粒を含み、Ⅰはより小さい0.1mm程度の粒子を含んでいるという違いが認められることなどから水簸との関連が考えられる。

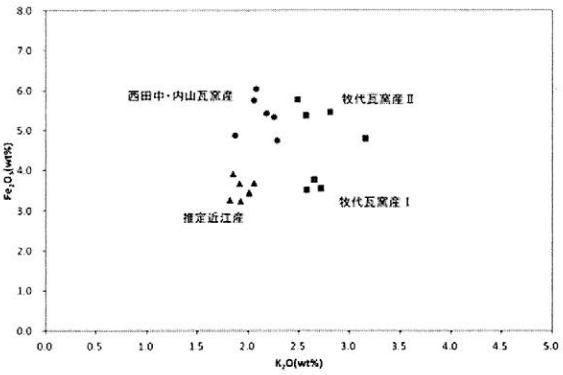


図 2　別の元素による比較（領域Ⅳ資料）

これらの結果をもとに産地不明資料を比較した生産地候補を表1に示す。藤原宮造営期の南北大溝(運河)から出土した資料は、日高山瓦窯と高台・峰寺瓦窯である可能性が高い。これまで南北大溝からは軒瓦が出土しておらず、将来の調査を待つほかない状況であったが、今回の結果により藤原宮所要の瓦が含まれていることは確実といえる。本薬師寺西塔所用軒丸瓦 6276Ac や大官大寺所用瓦のいずれもが高台・峰寺瓦窯の分布範囲の近傍にプロットされ、藤原宮造営後も高台・峰寺瓦窯が官窯として官寺建立に関与していくことを示す可能性が浮上したため、今後検討を深めていきたい。

本報告の分析手法により既往の生産地研究を検証できる見通しが立てられたが、今後さらにデータを蓄積することで産地推定の信頼性を高めていく必要がある。とりわけ瓦窯出土資料の分析を行うことが研究を進展させるうえで必要不可欠である。軒瓦の出土がないため生産地を不明とせざるを得ない対象資料についても広く試みてみる価値があると考える。

表 1　産地不明資料の生産地候補

不明資料		No.	型式	分析から推定された生産地
本薬師寺出土資料		35	軒丸瓦　6121A	牧代瓦窯
		47	軒丸瓦　6276Aa	牧代瓦窯
		48	軒丸瓦　6276Ac	高台・峰寺瓦窯（C）
藤原宮出土資料		68	軒平瓦　6646D	高台・峰寺瓦窯（C）
		70	軒平瓦　6646G	不明
	(南北大溝)	77	丸瓦	日高山瓦窯
	(南北大溝)	78	丸瓦	高台・峰寺瓦窯（N/P）
	(南北大溝)	79	平瓦	高台・峰寺瓦窯（C）
	(南北大溝)	83	丸瓦	日高山瓦窯
大官大寺出土資料		80	軒丸瓦　6231A	高台・峰寺瓦窯（C）カ
		81	軒平瓦　6661A	高台・峰寺瓦窯（C）カ
		82	軒平瓦　6661A	高台・峰寺瓦窯（N/P）カ

硫黄・水銀・鉛同位体分析法を組み合わせた遺跡朱の産地推定法

Identification of original source of vermilion collected from burial mound using three methods for sulfur, mercury, and lead isotopes

○南　武志(近畿大学)、河野摩耶(同左)、高橋和也(理研)、武内章記(国立環境研)、徳田誠志（宮内庁）、東影　悠(橿考研)、奥山誠義（同左）、寺沢　薫（纏向学研究センター）、今津節生（国立九博）

○Takeshi Minami (Kinki Univ), Maya Kawano (Kinki Univ), Kazuya Takahashi (RIKEN), Akinori Takeuchi (NIES), Masashi Tokuda (Imperial Household Agency), Yuu Higashikage (Archaeol. Inst. Kashihara), Masayoshi Okuyama (Archaeol. Inst. Kashihara), Kaoru Terasawa (RC for Makimukugaku), Setsuo Imazu (Kyushu Natl. Museum)

1.　はじめに

赤色顔料である朱（硫化水銀）は、縄文時代より土器の彩色に用いられてきたが、日本列島各地に首長墓が築造された弥生時代後期から古墳時代にかけて、埋葬者周辺に散布するだけでなく壁一面に朱を塗布するという、遺体の腐敗防止だけで説明できない多量の朱が用いられた墳墓が多数存在している。これらの墳墓において朱は、権力の誇示に用いられた可能性が示唆される。我々は墳墓に用いられた朱の産地推定を試みており、朱の流通から当時の権力推移が明らかにできないかと試行錯誤してきた。その中で、朱の成分である硫黄の同位体分析が、中国原産の朱と日本原産の朱で異なるδ値を示すことを明らかにし、中国産朱が弥生時代後期の日本海沿岸のいくつかの首長墓で用いられたと報告した。[1] さらに中国産朱の値を示した墳墓周辺で、日本産朱を用いたと思われる墳墓が存在することも報告した。[2]

弥生時代末期から古墳時代にかけて、国内産朱の供給を行った鉱山の可能性は、古文書、鉱山の規模、および地表近くに多量の朱が存在していたことなどから、三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山、徳島県水井鉱山のいずれかの鉱山から採取された可能性が高い。従来の硫黄同位体比の比較では、丹生鉱山産と他の 2 つの鉱山産の間に有意な差が認められたが、水井鉱山産と大和水銀鉱山産の間には差は認められなかった。また、同時に複数の産地から採取していた可能性もあり、異なる産地の朱が 1 つの墳墓で使い分けられた可能性や、混合して用いた可能性も考えられる。これらの問題を解決して国内産朱の産地推定を可能にするため、硫黄同位体分析だけでなく、水銀同位体と鉛同位体分析を開発し、3 分析法を行うことによって信頼性の高い産地推定を試みている。3 つの分析法で丹生鉱山・大和水銀鉱山・水井鉱山産および中国産の代表として陝西省青銅地区を加え、各鉱山朱鉱石を分析した。これを元に、墳墓出土朱の産地推定を行ったところ、奈良県桜井茶臼山古墳

出土朱は大和水銀鉱山産の可能性が高いことを昨年度の本学会で報告した。[3] しかし、桜井茶臼山古墳では 200kg 以上の朱を用いたと考えられていることから、産地の異なる朱を混合して使用した可能性も否定できない。そこで、連立方程式を用いて産地の異なる朱が混合されているかを検討した。

2. 方法

弥生時代後期から古墳時代の日本の遺跡で用いられた朱鉱石は、従来の硫黄同位体分析の結果を参考にしたところ、中国陝西省青銅地区、丹生鉱山、大和水銀鉱山、水井鉱山の 4 鉱山である可能性が高いことから、この 4 鉱山のいずれかから採取された朱を用いたと仮定し、硫黄同位体・水銀同位体・鉛同位体を分析し、その平均値から 4 連一次方程式を作成し、遺跡朱の混合割合を検討した。表 1 は用いた鉱山鉱石のそれぞれの同位体分析結果の平均値である。分析には、桜井茶臼山古墳（奈良県：古墳時代前期前半）、庭鳥塚古墳（大阪府：古墳時代前期後半）、津堂城山古墳（大阪府：古墳時代前期末～中期初頭）の埋葬施設から採取した朱を用いた。

表1 4鉱山朱鉱石の各同位体比分析値

	丹生鉱山	大和水銀鉱山	水井鉱山	陝西省青銅地区
$\delta^{34}S$ (‰)	-8.85	-3.98	-2.23	+10.50
$\delta^{202}Hg$ (‰)	-0.21	+0.14	-0.47	-0.92
Pb (207/206)	0.8435	0.8447	0.7993	0.8938
Pb (208/206)	2.0910	2.0957	1.9651	2.1791

値は平均値を示す

3. 結果および考察

桜井茶臼山古墳出土朱から得られたそれぞれの値を 4 連一次方程式に代入すると、丹生鉱山産（-12.8%）、大和水銀鉱山産（140.6%）、水井鉱山産（-29.0%）、陝西省産（-0.3%）と、大和水銀鉱山産だけがプラスの値を示し、大和水銀鉱山産を用いた可能性が高いと推察された。次に津堂城山古墳出土朱を分析したところ、丹生鉱山産（70.7%）、大和水銀鉱山産（-10.6%）、水井鉱山産（47.6%）、陝西省産（0%）となり、丹生鉱山産と水井鉱山産の可能性が示された。同様に庭鳥塚古墳出土朱は、丹生鉱山産（79.9%）、大和水銀鉱山産（-3.9%）、水井鉱山産（26.3%）、陝西省産（0%）を示し、津堂城山古墳と同様に丹生鉱山産と水井鉱山産の可能性が示唆された。

国内には複数の朱鉱山が併存した可能性が考えられる。また、朱鉱山から鉱石を採取し、そこから朱部分だけを集めるには、多大な年月と労力が必要であったと考えられ、その中で多量の朱を 1 つの墳墓に用いるには、長期間貯蔵されていた可能性や異なる産地の朱を混合した可能性は否定できない。今回、同位体分析を組み合わせることで、国内産朱の産地推定に新たな展開が見えてきた。

1) Minami et al., Geoarchaeol., 20: 79, 2005.
2) 南　ほか、地球化学 47: 237, 2013.
3) 南　ほか、日本文化財科学会第 30 回大会研究発表要旨集 pp. 56, 2013.

蛍光X線分析によるサヌカイトの原産地推定に前処理は必要か？
Does X-ray Analysis for Sourcing Sanukite Artifacts Required Removing of their surfaces as Pretreatment?

◯上峯篤史（日本学術振興会 / 京都大学）、髙木康裕（京都大学）、竹原弘展（パレオ・ラボ）、朝井琢也（龍谷大学）
◯ Atsushi UEMINE (JSPS/Kyoto Univ.), Yasuhiro TAKAGI (Kyoto Univ.),
Hironobu TAKEHARA (Paleo Labo Co., Ltd), Takuya ASAI (Ryukoku Univ.)

1. 研究の背景と目的

蛍光X線分析は非破壊分析とは限らない。サヌカイト製石器の分析に際しては、測定値を乱す風化層をあらかじめ除去することが通例となっている。ところがこの前処理は、測定資料をまったく旧状をとどめない無残な姿に変えてしまう。表面が損壊することで考古学的な観察を著しく妨げるばかりか、例えば石材移動を証明する「運搬痕跡」（上峯2012）や、石器群の一括性の判定材料になる風化度（上峯2011）など、近年クローズアップされてきた重要な考古学的情報を取り去ってしまうのである。結果、蛍光X線分析で原産地を推定しても、それを考古学的に研究できないという事態が生じている。分析学者は原産地推定の確度を高めるために試行錯誤し、前処理を工程に組みこんだ。一方ほとんどの考古学者は彼らの方法に異を唱えることもなく、また分析した石器を入念に観察することもないままに、なかばルーチン・ワークのように出土遺物を破壊分析に提供し続けてきた。

本発表で問題にしたいのは、風化層を除去しなければサヌカイトの原産地を正しく判定できないのかどうかである。たしかに風化による造岩物質の溶脱や二次的な物質の生成は、化学分析においては測定値に影響をあたえる「汚染」である。ところが安山岩の風化に関する研究（井上2008など）を参照する限りは、風化による表面物質の変化には規則性があり、測定値への影響は予測できるのではないかと考える。本発表では、前処理なしでも正確なサヌカイトの原産地推定が可能であることを証明する。

2. 研究の対象と方法

京都市一乗寺向畑町遺跡（泉2013）の縄文時代のサヌカイト製遺物のうち、出土地点が不明なもの46点を蛍光X線分析に供した。本遺跡は北部、南部、中央の各地区で回収された遺物からは、縄文時代後期後半における諸事象の時期的な変化を追跡できるが、どの地点から出土したのか不明な資料については学術的価値が低いとせざるをえない。そこで出土地点不明のサヌカイト製遺物に対して、管理者の許可を得たうえで破壊措置である前処理を施すことにした。

サヌカイト製遺物は洗浄済の状態で管理されていたが、管理中に付着した埃を落とすため、分析に先立って水道水で洗浄した。次に前処理をほどこさないまま蛍光X線分析にかけ、測定値を記録した。そののちヨシダ製サンドブラスターPencil Jet αIIによって資料の片面に酸化アルミニウム（アルミナ）粉末を噴射し、表面に発達した風化層を完全に除去してから、再度蛍光X線分析した。分析にはエスアイアイ・ナノテクノロジー製エネルギー分散型蛍光X線分析計SEA1200VXを使用し、測定時間100sec、X線照射面径8mm、電圧50kv、電流1000 μA、試料室内雰囲気は真空に設定、一次フィルタにはPb測定用を用いた。測定に際しては、本機に搭載されているCCDカメラによりX線を照射する位置を確認した。蛍光X線分析には竹原および竹原の指導のもと髙木、上峯が、前処理には竹原の指導のもと朝井があたった。

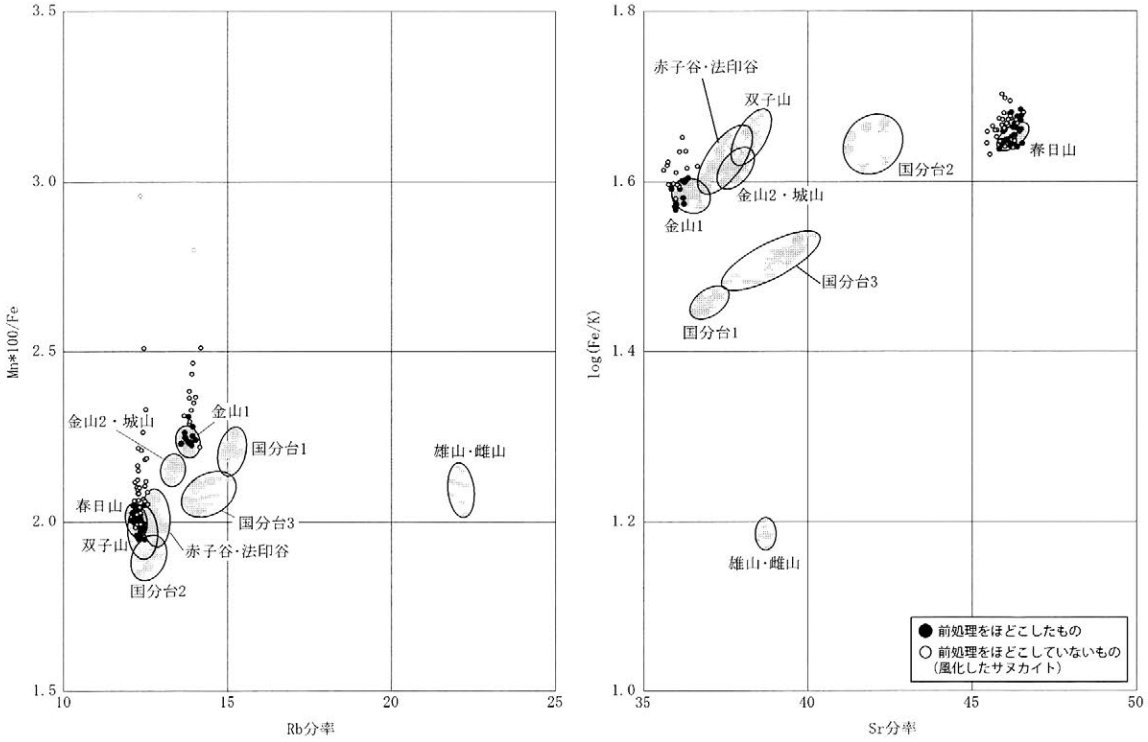


図 1　判別図法によるサヌカイトの原産地推定と前処理の有無

3. 測定結果

両者で得られた値を、既報の判別図（竹原 2012）上にプロットしたのが、図 1 である。サヌカイトの原産地推定の判別に有効な指標値のうち、風化の影響が現れたのは「Mn 強度× 100 ／ Fe 強度」と「log（Fe 強度／ K 強度）」で、両者ともに風化によって値が増加することがわかった。対して「Rb 分率」（Rb 強度× 100 ／（Rb 強度＋ Sr 強度＋ Y 強度＋ Zr 強度））や「Sr 分率」（Sr 強度× 100 ／（Rb 強度＋ Sr 強度＋ Y 強度＋ Zr 強度））など微量元素にもとづく指標値にはほとんど変化がなかった。

4. 結論

二上山北麓産サヌカイト（春日山）と金山産サヌカイト（金山 1）が風化によってこうむる表面元素の変化は、判別図上では規則的な変化として表れ、原産地推定を妨げない。近畿地方を例にとれば、先史時代に利用されたサヌカイトは二上山北麓産と金山産にほぼ限定されることがわかっており、蛍光 X 線分析に期待されているのは両者の識別である。本発表で提示したデータ、石材利用研究の成果に照らせば、近畿地方のサヌカイト製遺物の蛍光 X 線分析において、石器表面の風化層を破壊する前処理は今後一切不要と判断される。

引用文献

泉　拓良 編 2013『一乗寺向畑町遺跡出土縄文時代資料 - 資料編 -』京都大学大学院文学研究科考古学研究室

井上　巖 2008『関東・中部地方ガラス質安山岩写真集 - 地質学から考古学へのアプローチ -』第四紀地質研究所

上峯篤史 2011「石器群の一括性と風化度 - 大阪府東大阪市神並遺跡出土の有舌尖頭器をめぐって -」『文化史学』67、pp. 115-134。

上峯篤史 2012「縄文時代の石材移動をめぐって - 石器製作の遺跡間連鎖と石器の「運搬痕跡」 -」『関西縄文時代研究の新展開』関西縄文文化研究会、pp. 147-160。

竹原弘展 2012「判別図法によるサヌカイトの産地推定について」『日本文化財科学会第 29 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会第 29 回大会事務局、pp. 238-239。

北海道における黒曜石原産地の地質学的及び岩石学的データの集約

Compilation of geological and petrological data of obsidian sources in Hokkaido, Japan

和田恵治(北教大)・向井正幸(旭川市科学館)・佐野恭平(九大)・
出穂雅実(首都大)・佐藤宏之(東大)

1. はじめに

黒曜石は先史時代集団の人類社会を構築する研究において最も重要な石材である。遺跡に残された黒曜石石器の形状や材質・化学組成から先史社会における多くの基礎的情報を読み取ることができる。これまで黒曜石石器類の原産地同定が黒曜石の化学組成による同定から多数行われてきたが，黒曜石原産地の地質情報や岩石特性については資料に乏しかった。

北海道産黒曜石の全岩化学組成は蛍光 X 線分析装置（PANalytical 社製 Magix PRO，北大理学院）を，黒曜石ガラスの化学組成は電子プローブマイクロアナライザー（EPMA：日本電子社製 JEOL- JXA8600）を使って分析された。本研究では，北海道産黒曜石・原産地の地質，形成過程，化学組成，微細組織を明らかにして，黒曜石石器の原産地推定のための北海道産黒曜石の地質及び岩石学的基礎データを集約することを目的としている。今回の発表ではその概要を報告する。

2. 北海道における黒曜石原産地の地質と岩石

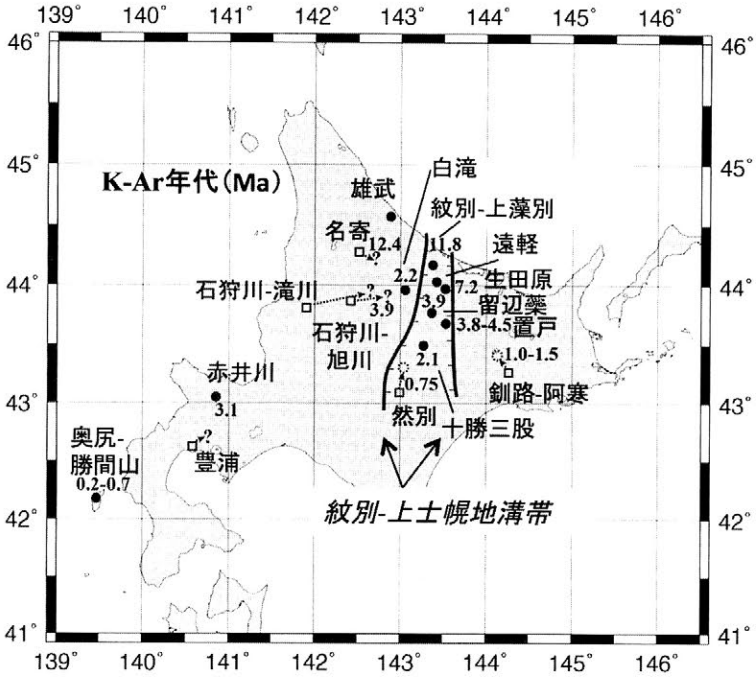
北海道における黒曜石原産地は，以下のように16の地質学的産地（奥尻勝間山・赤井川・豊浦・石狩川-滝川（新称）・石狩川-旭川（新称）・十勝三股・然別・置戸・留辺蘂・生田原・白滝・遠軽・名寄・紋別-上藻別・雄武・釧路-阿寒（新称）が確認できる（Wada et al. 2014）（右表）。このうち石狩川-滝川と石狩川-旭川は，現時点で原産地を特定できていないが，石狩川水系でこれらの黒曜石礫が見いだされているので，原産地は石狩川上流地域にあると思われる。また，豊浦，名寄，十勝三股，然別，釧路-阿寒も原産地が近隣にあると推定されるものの黒曜石を生じた地質ユニットを正確に特定できていない。

北海道における黒曜石の原産地は，１６原産地のうち，１３原産地が北海道北東部に集中して分布する傾向がある（下図）。このうち，7原産地は紋別-上士幌地溝帯内にある。地溝帯は地殻の引っ張り応力場のもとで形成された

No.	地質学的産地名	化学組成による産地区分	ガラス組成による細分	石器の利用	地質学的産状	黒曜石K-Ar年代（Ma: 百万年）
1	奥尻-勝間山	奥尻-勝間山		×	勝間山溶岩 (鹿野ほか2006)	0.2-0.7 Ma (鹿野ほか2006)
2	豊浦	豊浦		○	火砕堆積物, 溶岩？	
3	赤井川	赤井川		◎	溶岩?	3.1Ma (Wada et al.2014)
4	石狩川-滝川	石狩川-滝川		△	?	
5	石狩川-旭川	石狩川-旭川 1		○	?	3.9Ma（向井・和田 2002）
		石狩川-旭川 2		△	?	
6	雄武	雄武		×	元稙府溶岩 (鈴木ほか1966)	
7	名寄	名寄		○	火砕堆積物, 溶岩？	12.4 Ma (Wada et al.2014), 5.9 Ma (岡ほか,1991)
8	紋別-上藻別	紋別-上藻別		×	上藻別溶岩 (八幡ほか1988)	11.8 Ma (八幡・西戸 1995)
9	白滝	白滝-赤石山	赤石山-A, B	◎	赤石山山頂溶岩, 赤石山上部溶岩, 北湯ノ沢溶岩, 鹿砦上部溶岩 (和田・佐野 2011)	2.2Ma (和田・佐野 2011)
		白滝-十勝石沢	十勝石沢-A, B	◎	十勝石沢溶岩, 幌加湧別溶岩, 850m 溶岩, 赤石山下部溶岩, 鹿砦下部溶岩, 十勝石沢830m 溶岩 (和田・佐野2011)	
10	遠軽	遠軽		×	火砕堆積物, 溶岩？	
11	生田原	生田原	生田原-A, B	△	溶岩(山田ほか1963; 向井 2010)	7.2 Ma (Wada et al.2014)
12	留辺蘂	留辺蘂-岩山ノ沢		○	溶岩 (向井2010)	3.9 Ma (Wada et al.2014)
		留辺蘂-通子沢		○	溶岩 (向井2010)	
13	置戸	置戸-所山	所山-A, B	◎	所山溶岩, 北所山溶岩 (Wada et al.2014)	3.8 Ma (Wada et al.2014)
		置戸-置戸山		◎	置戸山溶岩(沢村ほか1965; Wada et al.2014)	4.5 Ma (Wada et al.2014)
14	十勝三股	十勝三股		◎	溶岩 (向井2010)	2.1 Ma (Wada et al.2014)
15	然別	然別		△	溶岩？ (向井2010)	0.75 Ma (Wada et al.2014)
16	釧路—阿寒	釧路-阿寒 1		△	阿寒火砕流堆積物	1.0-1.5 Ma 長谷川ほか 2011)
		釧路-阿寒 2		△	阿寒火砕流堆積物	

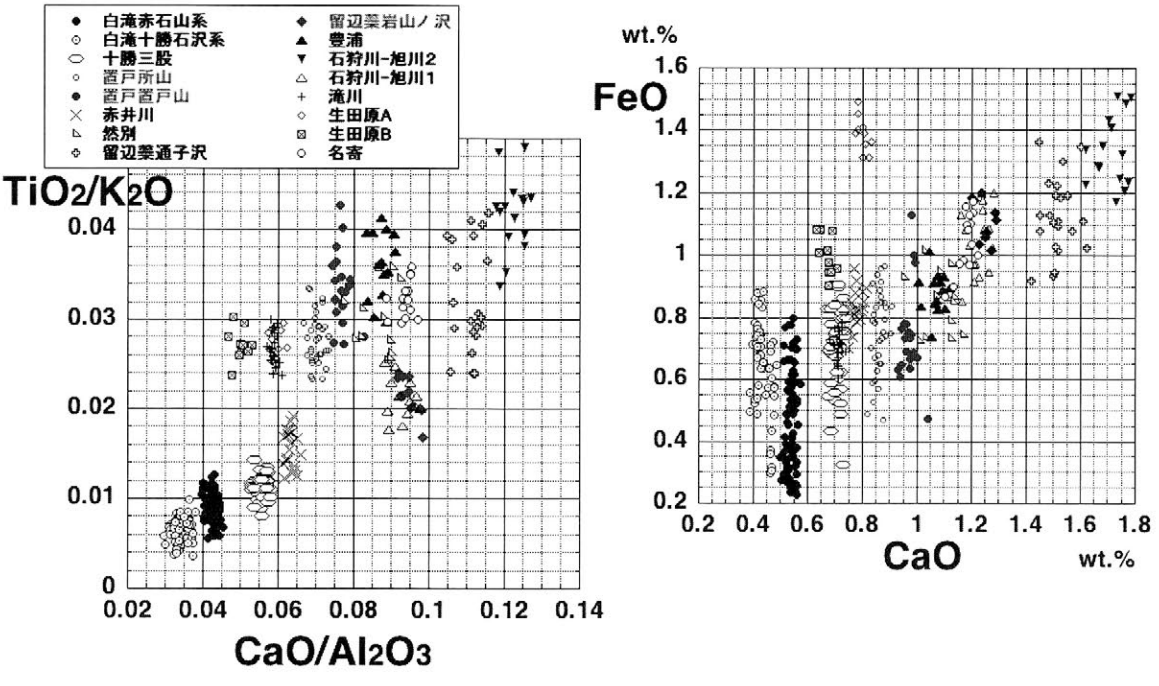
ので，黒曜石は引っ張り応力場における火山活動と関連して形成されたと考えられている(和田，2011)。地溝帯内の黒曜石原産地では，黒曜石の形成年代は北から南に向かって新しくなる（12Ma から 1Ma）（右図）。

１つの原産地では，黒曜石を生じたマグマが一種類に限らず，異なるマグマが複数地点で活動した例がある(和田・佐野，2011)。そのため，黒曜石原産地の同定のために，黒曜石の化学組成によって，同じ産地でも異なる名称を用いることが慣例となっている。北海道では，以下の５原産地が複数の全岩化学組成を有する。石狩川-旭川（石狩川-旭川１と石狩川-旭川２の組成グループ），白滝（白滝-赤石山と白滝-十勝石沢の組成グループ），留辺蘂（留辺蘂-岩山ノ沢と留辺蘂-通子沢の組成グループ），置戸（置戸-所山と置戸-置戸山の組成グループ），釧路-阿寒（釧路-阿寒１と釧路-阿寒２の組成グループ）である。



また黒曜石ガラスの化学組成からも１つの原産地において複数のガラス組成グループが認識される；白滝（赤石山-A と B，十勝石沢-A と B），生田原（生田原-A と B），置戸（置戸-所山-A と B)。

ガラスの主成分化学組成の中で CaO 量は固有値を最も敏感に反映している。そのため石器の原産地推定では，10 個の組成関係図（CaO/Al_2O_3-TiO_2/K_2O 図（下左図），CaO/Al_2O_3 -TiO_2/CaO 図，CaO/Al_2O_3-Na_2O/K_2O 図，CaO/Al_2O_3-TiO_2/FeO 図，CaO-SiO_2 図， CaO-TiO_2 図，CaO-FeO 図（下右図），CaO-MgO 図，CaO-K_2O 図，CaO/Al_2O_3-Cl 図）を基にして，それぞれの原産地組成範囲にプロットされるかどうかで点数化し，基準を決めて判定している。



琉球王国における四殿内所蔵丸櫃の科学分析

Scientific Analysis of the Yutounuchi collection round chests in the Ryukyu Kingdom

○伊郷宗一郎(明治大学大学院理工学研究科)、本多貴之(同左)
宮里正子(浦添市美術館)、岡本亜紀(同左)、又吉紅子(同左)

1　はじめに

15 世紀に尚巴志(しょうはし)王のもとで成立した琉球王国は、中国との朝貢貿易を中心に朝鮮、日本、東南アジア諸国との交易と文化交流を通して、独特な王朝文化を作り上げた。とくに中国からは、朝貢国として破格の待遇を受け、多くの文物と各種の技術が伝わった。その一つが琉球の漆芸だと考えられている。16 世紀には琉球王国は独自の優れた漆芸品を生み出し前述の各国との交流品として用いていた。しかし、これら歴史的な琉球漆器に関する科学的な研究は進んでいない。そこで今回は伊是名島、四殿内(ゆどうぬち)所蔵の丸櫃について分析を行ったのでその結果について報告する。

2　試料・実験

四殿内は沖縄県伊是名島における名家であり、同島諸見村出身の金丸 (1415~1476 年) が琉球王国後期の第二尚氏王統の初代尚円(しょうえん)王に即位した際 (1470 年) 、特別な地位を与えられた親族の 4 つの家系である[1,2]。今回は、尚円王より玉城(たまき)・名嘉(なか)・伊礼(いれい)家に贈られた丸櫃より採取した微量片を分析に供した。はじめに、それぞれ約 3 mg の試料をエポキシ樹脂で包埋しスライドガラスに接着、研磨を行い、プレパラートを作製した。これを用いて光学顕微鏡で試料の断面を観察した。次に、塗料と顔料を特定するため、作製したプレパラートを用いて ATR-FT/IR 分析と EDX 分析を行った。また、新たに約 2 mg の試料を用いて熱分解 (Py-)GC/MS 分析と水酸化テトラメチルアンモニウムによる反応熱分解(THM-)GC/MS 分析を行った。

図 **1** 丸櫃

図 **2** 試料片

3　結果と考察

右記の表に光学顕微鏡により観察できた積層数と ATR-FT/IR 分析によって同定した塗料、EDX 分析によって検出された各元素を示す。各分析より、試料に用いられた塗料は全て漆であるが、塗料の積層数や含有元素 (用いられた顔料) は異なることが確認できた。これは丸櫃のうち試料に用いた微量片をどの部位より採取したかによる差異だと考えられる。しかし、図 3

表　各試料の分析結果

試料	表面の色	積層の様子	塗料	検出元素[1)]
玉城家	赤	2層(塗料・下地)	漆	**Hg**, Si, Fe, Ca, K, Mn
名嘉家	赤	4層(塗料x3・下地)	漆	**Hg**, **As**, Pb, Si, Fe, Ca, Sr, K, Mn
伊礼家	黒	5層(塗料x4・下地)	漆	Pb, Si, Fe, Ca, Sr, K, Mn

1) 太字は塗料層より検出

に各試料片の断面写真を示しているが、塗料層の膜厚は試料により不定であり、3種の試料共に塗り重ねの回数が少ないことが分かった。また、琉球漆器は顔料として水銀朱(HgS)を用いていることが多く、今回も玉城・名嘉家の試料において確認できたが、これに加え名嘉家の試料の最表面より1層目においては、古来より黄色顔料として用いられていた石黄(As_2S_3)が確認できた。

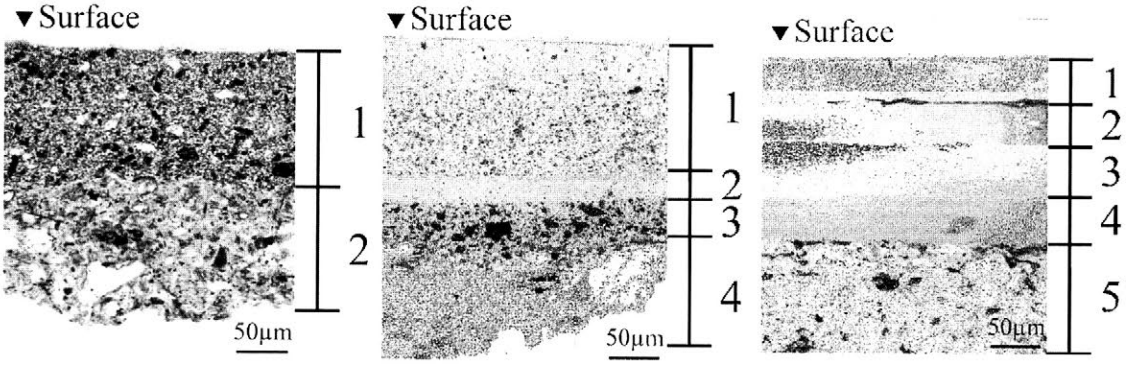


図3 試料断面(左：玉城家、中：名嘉家、右：伊礼家) 透過光 x200

Py-GC/MS分析により、塗料である漆の樹種を詳細に調べたところ、得られたイオンクロマトグラムより、主に中国に分布する *Toxicodendron vernicifluum* または主にベトナムに分布する *Toxicodendron succedaneum* であることが確認できた。さらに、THM-GC/MS分析の結果において、Pentadecylveratrole に比べて Heptadecylveratrole のピークの相対強度が強いため、試料に用いられている漆は *Toxicodendron succedaneum* であると特定した。

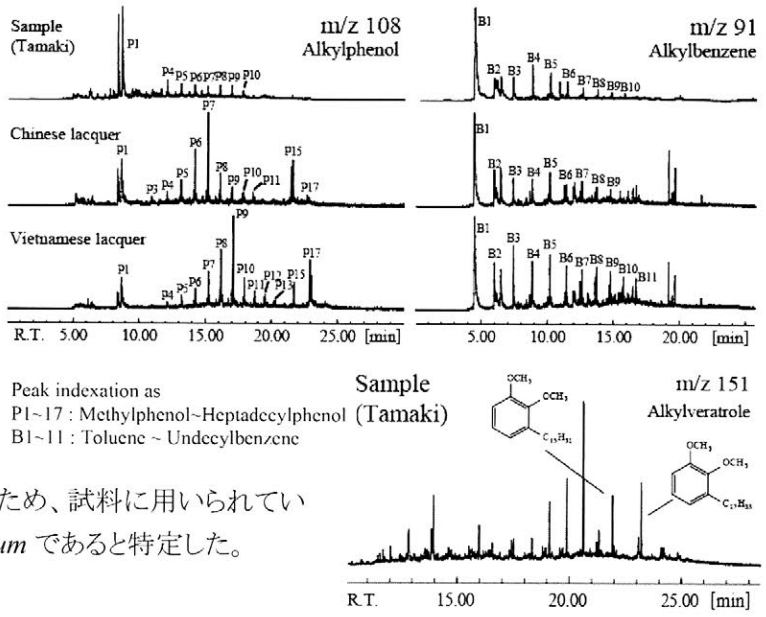


図4 試料のイオンクロマトグラム

4 まとめ

尚円王が四殿内に贈ったとされる丸櫃について、断面観察、ATR-FT/IR、EDX、Py-GC/MS、HTM-GC/MS分析を用いて研究を行った。その結果、丸櫃は漆塗り(*Toxicodendron succedaneum)* であり、顔料に水銀朱と石黄が用いられていることが確認できた。

5 参考文献

1) 仲田栄二, 高良倉吉 他 「伊是名村史 上巻（島のあゆみ）」 伊是名村史編集委員会 (1989)
2) 高良倉吉 他 「伊是名村銘刈家の旧蔵品および史料の解説書」 伊是名村教育委員会 (2007)

黄檗で染色された文化財染織品に含まれるプロトベルベリン誘導体の定量分析を用いた劣化評価についての一考察

Evaluation of the degradation over storage environment and aging by the quantitative analysis of the protoberberine derivatives used in the cultural textiles dyed in Amur Cork Tree kinds (Phellodendron species)

○佐々木　良子（京都工芸繊維大学　美術工芸資料館），
藤井健三（西陣織物館），
佐々木　健（京都工芸繊維大学　工芸科学研究科生体分子工学部門）
○Yoshiko SASAKI (Museum and Archives, Kyoto Institute of Technology),
Kenzo FUJII (Kyoto NISHIJIN textile Industrial Association),
Ken SASAKI (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology)

はじめに

発表者らはこれまで文化財染織品に用いられた黄檗中の各成分の定量分析を破壊分析であるHPLCを用いて行い，主成分であるベルベリンに対する副成分の比率から黄檗の産地の特定が可能であること，ひいては染織品の産地についても考察できることを報告してきた[1]。一般に染料はその経年と保存環境によって劣化をする。昨年は黄檗染めの資料に於いても，HPLC及び質量分析によってベルベリン由来の劣化生成物が生成することを報告した[2]。本報告では，これらベルベリン由来の劣化生成物について注目し，染織品の状態や経年との関係を考察したので報告する。

実験

機器：紫外可視吸収スペクトル並びに反射スペクトルにはShimadzu UV-3101PCを，蛍光スペクトルにはHitachi F-4500を使用した。高速液体クロマトグラフはPDA検出器としてJASCO MCD 2010を用い，カラムにはCosmosil 5Ph-MS (Nacalai)，移動相溶媒には$TFA/H_2O/MeOH$を流速1mL/minで使用した。

試薬：塩化ベルベリンは市販品（東京化成）をメタノールより再結晶して，塩化コプチジンは市販品（和光純薬）をそのまま用いた。塩化パルマチンはコロンボ根（吉見製薬）より，ヨウ化ヤトロリジンは唐黄連（高砂薬業）より抽出した。

文化財資料：

中国様式を有する資料の刺繍糸　16C～19C
E-C1～E-C8：京都工芸繊維大学美術工芸資料館収蔵品
日本様式を有する資料の刺繍糸
17C～19C
E-J1～E-J54：京都工芸繊維大学美術工芸資料館収蔵品及び個人蔵
中国様式を有する資料の織糸　14C～20C
W-C1～W-C15：京都工芸繊維大学美術工芸資料，曇華院蔵及び個人蔵
日本様式を有する資料の織糸
16C～19C
W-J1～W-C12：京都工芸繊維大学美術工芸資料及び個人蔵

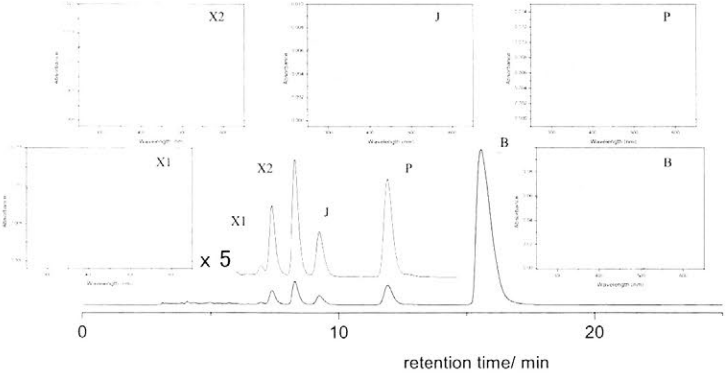


図1　曇華院蔵九条袈裟萌黄糸抽出液のHPLCクロマトグラムと、それぞれのピークの紫外吸収スペクトル

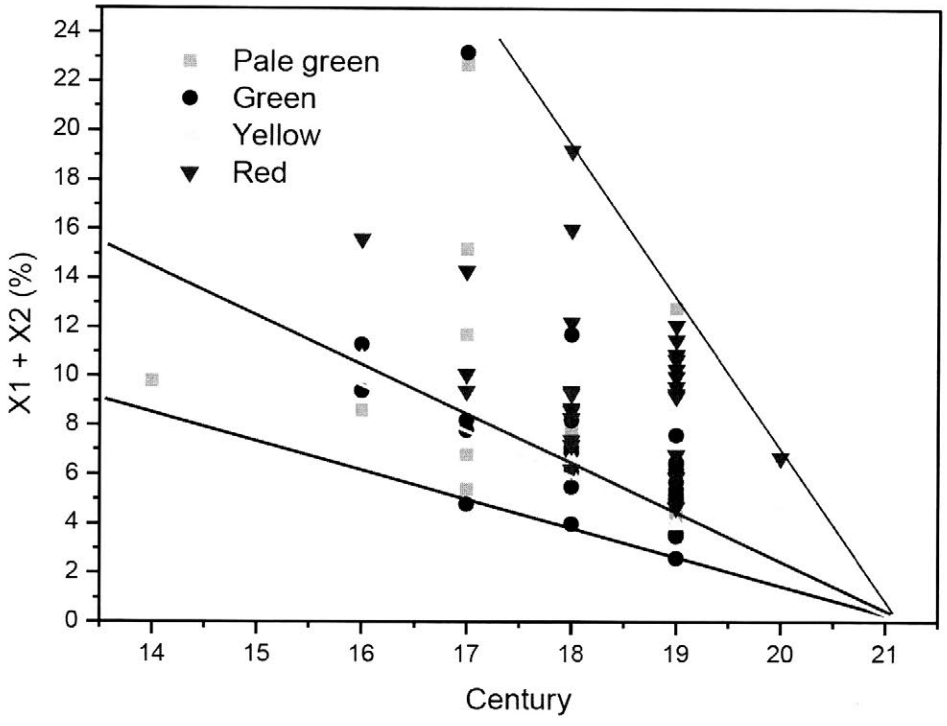


図 2　文化財染織品に用いられた黄檗に含まれる劣化生成物総量（X1+X2)と様式からみた年代の関係

結果と考察

経年劣化した文化財資料から黄檗を抽出し HPLC に供した結果を図 1 に示す。ここで，主成分ベルベリン（B）副成分パルマチン(P)，ヤトロリジン(J)のピークが観察されるだけでなく，現代資料では観測されない二つのピーク X1 と X2 が認められた[2)]。この両者の吸収スペクトルは 350nm 付近と 420nm 付近に極大吸収を示すいずれもプロトベルベリン誘導体であり，ほとんどパルマチンを含まない中国様式資料においても観測されることから，ベルベリン由来の経年生成物と考えられる。そこで，日本様式ならびに中国様式を有する各種経年資料に対して経年による生成物 X1，X2 の総量（X1+X2）を全資料について求め，資料の様式から判断される年代に対してプロットした（図 2）。その結果，X1+X2 量は，様式，色にかかわらず年代をさかのぼるに従って増加する傾向が認められた。ここで X1+X2 量は，同じ年代様式であっても幅広い分布を示したが，数値の小さいものは資料の状態が良く，数値の大きいものは劣化が著しい傾向が観察できた。ここで状態のよい資料で色別に比較すると，緑色の黄色成分として用いられた場合に比べて，黄檗単独の場合と紅下に用いられた黄檗の場合に，経年による生成物(X1＋X2)が多くなる傾向が認められた。図 2 に示した X1+X2 量の分布は，共存する染料の違いに起因するものと，経年変化ならびに保存状況における劣化に起因するものとが複合的に作用して得られたものであり，特定の要因に帰属することは困難である。しかしながら，特に状態のよい資料に関しては，劣化生成物量が年代と一定の程度の相関が認められることから，経年ならびに保存状況を反映した劣化に関する定量的指標として利用可能であることを示す。

参考文献
1）佐々木良子　他　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2012, **63**, 71-88
2）佐々木良子　他　日本文化財科学会第 29 回大会（京都）2012 年 6 月 24 日 研究発表要旨集 pp.92-93

無形文化財（方言）分布からみた文化景観とその保存
- 沖縄・ヤンバル方言を対象にして -
The cultural landscape conservation of Yan-baru area based on dialects distribution

○湯佐安紀子（同志社大学文化情報学研究科）、津村宏臣（同志社大学）、狩俣繁久（琉球大学）、
大西正幸（総合地球環境学研究所）

1. はじめに

沖縄をはじめとする離島地域では、現在固有の方言無形遺産が消滅していく現状を危惧し、その記録保存に力を入れる自治体や言語学者も少なくない。しかし、無形文化財としての方言は、ヒトと環境の相互作用環の上に成り立つものであり、生業や社会環境とその構造の理解なくして、言語的特徴の記録からだけでは無形の文化景観の保存にはつながらない。本論はこの文化景観の多様性評価や保存を方言分布から具体化する方法を確立し、社会政策につながる無形文化財の保存・修復を議論する萌芽的研究に位置付けられる。

2. 方言の定量化

本研究では名護市と沖縄言語研究センターによるヤンバル地域全集落調査[1]で得られた方言データを使用する。また、同時に現在狩俣によって新たな集積も行われており、継続して基盤化を進めている。まず、ヤンバルクイナなどの生物名称にも用いられる「ヤンバル（山原）地域」は、豊かな自然と文化を持つとする沖縄北部を指し、上記の方言調査では具体的にはうるま市、恩納村以北と島嶼（伊江島・伊平屋島・伊是名島）を対象エリアとしている（図１）。

図１　ヤンバル地域と全集落分布

調査された基本語彙200語は身体・親族・代名詞に関する語など多様であり、本論では名護市（2006）に言語地図で記載されている「動物[2]」「植物[3]」「道具[4]」に関する語を定量化した。また、方言の種類だけでなく、母音の長さ（音の型）についても情報として格納した。例えば豚のヤンバル方言は３種類－喉頭破裂音のあるワー、喉頭破裂音のないワー、グヮーだが、音の型では一音節の長母音型１種である。

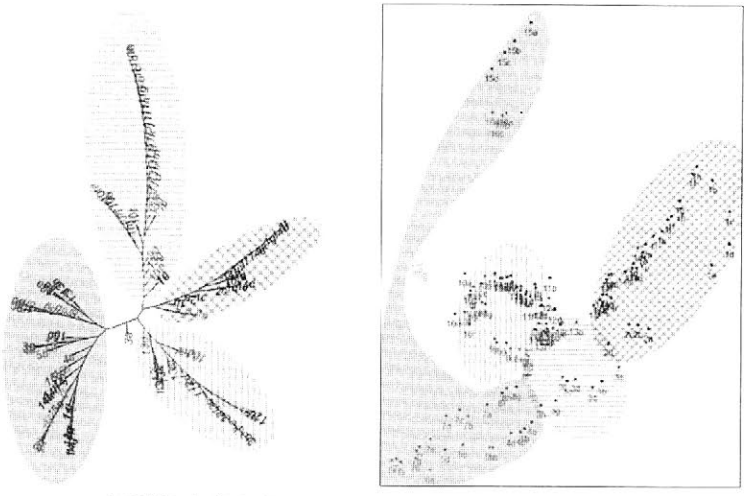
3. 方言分布による集落距離

方言データから136集落同士の言語特徴距離行列を統計解析ソフトRで析出し、動物・植物・

[1] 名護市と沖縄言語研究センターが協力し、1982年から方言の記録保存のため調査が行われた。
ヤンバル地域とされる17地区の136集落を対象としている。
[2] 豚、馬、犬、蝶、とんぼ、かたつむり
[3] 木、葉、根、米、藻、さとうきび、さつまいも、稲
[4] ほうき、鍬、鎌、へら、包丁、釜、鍋、水、湯、茶、みそ、銭、着物、紙

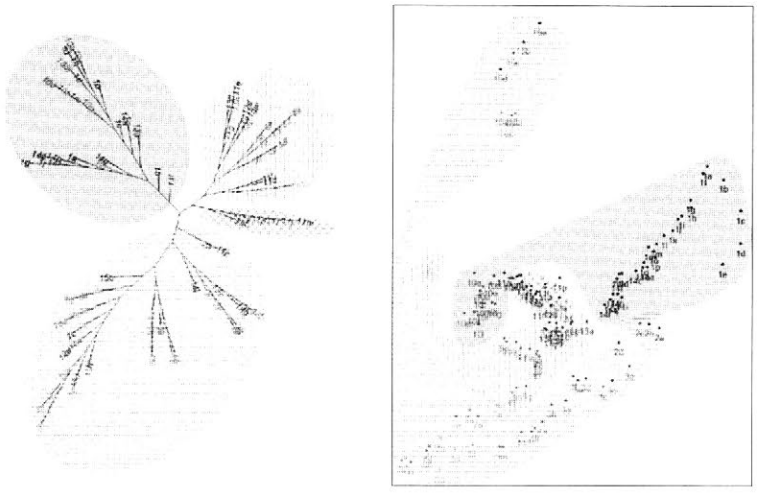
道具それぞれに関する方言（または音）による無根系統樹を民族遺伝学的手法により作成した。系統に特徴が現れた植物と道具について示す（図 2a, 図 3a）。指定した情報によるヤンバル地域の集落関係として読み、枝分かれは系統を、枝の長さは時系列的変化を表す。また、系統樹の系統を地図上に視覚化し、系統の集落位置関係を示す（図 2b, 図 3b）。

植物に関する方言は言語的連続性が強く、その方言変化が起きている系統の立地は中心部名護に位置する。さとうきび・さつまいも・稲は集落が立地する環境だけでなく生業といった文化背景の影響を持つだろう。動物に関する方言の分布は多岐にわたり、言語的連続性は弱い。しかし、系統ごとの空間は連続的である。これは道具各々に対する名付けには自由度が高く、ヒトの移動の影響を受けている



a. 方言種類の無根系統樹　　b. 方言分布系統による集落色分け

図 2　ヤンバル系統樹（植物_方言種類）



a. 方言種類の無根系統樹　　b. 方言分布系統による集落色分け

図 3 ヤンバル系統樹（道具_方言種類）

4. まとめと今後の展望

生業により言語の遺伝的傾向が異なり、また移住や商品経済・流通のあり方が無形遺産の消失に大きく影響していることが考えられる。言語という対象の保護・修復に対する具体的なアウトリーチ提言には、人の動きや社会構造・風俗の保全という構造的アプローチが不可欠であり、人々の生活全体に対する行政的・法令的対応と、さらなる調査が必要である。

参考文献　名護市史編さん委員会 2006 『名護市史本編・10　言語』

装飾古墳修復材料の研究Ⅱ-「がんぜき」を用いた試み～上天草市大戸鼻南古墳での実践～

Research on tha restoration materials for decorated tumulus Ⅱ —「The trial of GANZEKI ～ Practice at the Ootohana tnmulusin Kami Amakusa City ～

○坂口圭太郎（熊本県立装飾古墳館）・池田朋生（熊本県教育委員会）・徳弘恵吾・高野信子（上天草市教育委員会）・朽津信明（東京文化財研究所）

○Keitaro Sakaguchi (Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum)、Tomoo Ikeda (Kumamoto Prefectural Board of Education)、Keigo Tokuhiro・Nobuko Takano (Kamiamakusa City Board of Education)、 Nobuaki Kuchitsu (National Research Institute for Cultural Properties Tokyo)

1） 装飾古墳の現状と課題

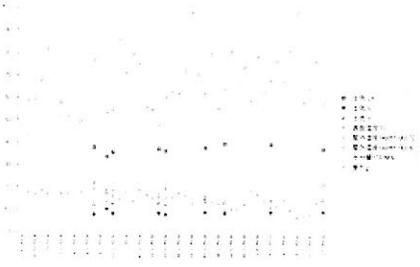
全国にある装飾古墳の中には保存施設を設置し内部環境を一定に保つための工夫が施されているものがある。しかしながら墳丘の流失や施設の老朽化等により墳丘内の石棺や石室に隙間が生じている事例が散見される。元来、墳丘内に埋設された石棺や石室は密閉した空間であるが、そこに生じた隙間から外気が流入することで内部の温湿度が変化する。そのことで石棺や石室の石材表面において剥落等の劣化が生じる事もあるため、石棺や石室に生じた隙間を埋める必要があると考える。この場合、隙間を埋める修復材料に求められるものは、高湿度下の石室内で接着力が保たれ、かつより優れた修復材料が開発された際に石棺や石室に損傷を与えずに完全に除去できることがあげられる。また、これら装飾古墳の多くが史跡に指定されており、文化財保護の観点からも現状変更が伴う措置については慎重に実施しなければならない。このような現状において応急的な措置を模索する中で、熊本県立装飾古墳館（以下古墳館とする）では、「がんぜき」[1]に着目した。[2]

2） 「がんぜき」の特性と評価

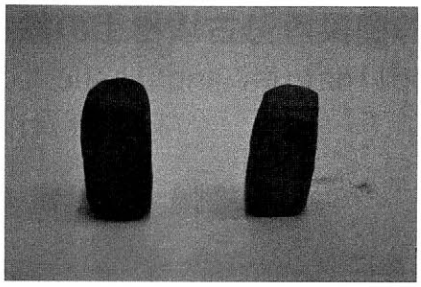
現在の文化財修復にあたっては合成樹脂やモルタル等の建築材料を用いる事がある。しかしながら、文化財の修理において容易に取り除くことが出来る性質が求められる事から、これらの材料を用いる際には、接着箇所や使用量に細心の注意を払わなければならない。一方の「がんぜき」は江戸時代から続くとされる熊本県宇土市にある簡易水道「轟泉水道」で用いられており、阿蘇熔結凝灰岩製の送水管接着や漏水時の目づめに使われる接着剤であり、その特徴として、高湿度で硬化し、かつ接着した部材を傷めない特質を持つ[3]。この「がんぜき」の特性を生かした修復については一定の評価を与えるための実見と観察を実施した。

グラフ①は「がんぜき」をビニール袋に密閉することで、高湿度という石室内の疑似空間を作ってデータである。「がんぜき」製作後 79.2%あった水分量が約 1 時間後には45.8%まで下がり、約 12 日が経過後から 35%付近で安定している。併せて測色したところ、L 値、a 値、b 値ともに 1 か月半経過後も大きく変化していないことが分かる。写真①は作製から 2 日経過した疑似空間と露出状態に置いたもの「がんぜき」であるが、外見上大きな亀裂や白華も認められない。これらのデータ及び観察結果から、この「がんぜき」を用いた石棺や石室に生じた隙間の目づめや石材の接着剤としての利用は有効であると考えた。[2]

この結果を受けて、古墳館では熊本県上天草市にある県史跡「大戸鼻南古墳」の石棺に生じた隙間の修復を試みた。次ではその修復の試みと経過観察について述べる。



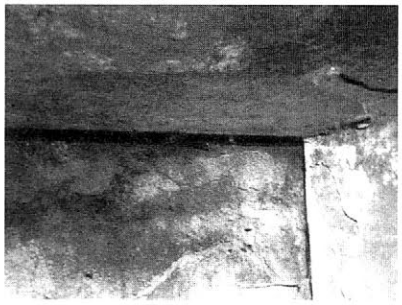
グラフ①(袋入りの「がんぜき」)



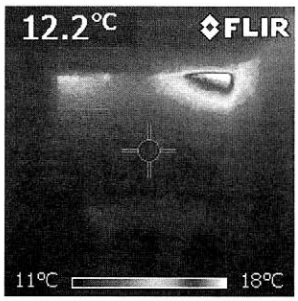
写真① がんぜき(左は袋入り・右は露出

3) 大戸鼻南古墳の修復

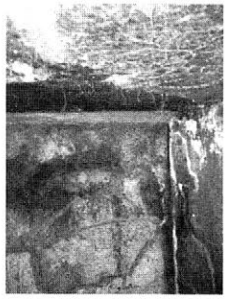
大戸鼻南古墳は上天草市松島町阿村にある石棺系装飾古墳である。古くから石棺が露出しており、史跡整備に伴い、羨道部にコンクリートの躯体を設置し、墳丘を新たに盛り直している。しかし



写真②石棺奥壁(隙間)

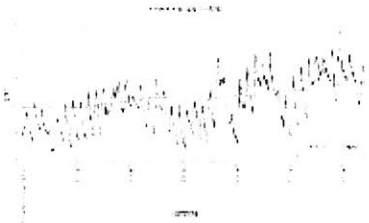


写真③熱画像①(隙間)

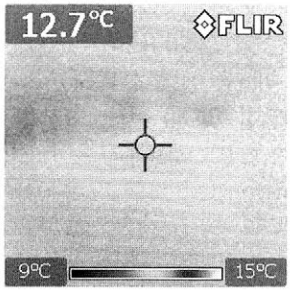


写真④石棺奥壁(充填後)

奥壁の石棺の合わせに隙間が生じていた。写真②はその様子である。写真③は熱画像カメラで撮影したもので、隙間が出来ている箇所での温度上昇が明確に確認できる。写真④は「がんぜき」を充填した様子である。グラフ②は「がんぜき」充填後の石棺内温度変化をグラフ化したものである。3月15日の充填に際し石室内でいったん温度上昇が生じるが、外気流入が止まった効果で僅かであるが、石棺内の温度上昇が抑制されている。



グラフ②がんぜき充填後の石棺内温度変化



写真⑤熱画像②(充填後)

写真⑤の熱画像でも隙間があった箇所と周辺との温度差は無くなっている。

4) 考察

2012年から大戸鼻南古墳で「がんぜき」の予備実験と経過観察を実施しており「がんぜき」本体での塩の発生やカビなどの発生する事象は生じなかった。2014年3月15日に実施した「がんぜき」による修復作業から約2ヵ月経過しているが、充填した「がんぜき」について、ひび割れや白華等は確認されていない。また外気流入による石材表面の過乾燥については、装飾面の観察からも一定の抑制効果が表れてきている。今後は年間を通じて、温湿度データと「がんぜき」本体と石材の表面観察のモニタリングを継続することで、「がんぜき」の可能性を見極めていきたい。

1) 「がんぜき」を構成する主成分は、轟水源付近で産出する粘性の強い赤土、貝灰、塩、松の葉と枝を煮込んで抽出した汁である。

2) 池田朋生・大友由紀 2007『がんぜき作製の記録 －轟泉水道組合でのがんぜき作製－』熊本県立装飾古墳館研究紀要 第7集

3) 坂口圭太郎・池田朋生・朽津信明 2011『装飾古墳修復材料の研究―「がんぜき」を用いた試み』日本文化財科学会第28回大会

謝辞 この発表にあたり、多くの方々の支援、ご指導、ご助力を頂きました。特に轟泉水道管理組合の松川氏には「がんぜき」の製作に格別のご協力賜りました。また古墳館の伊藤幸子氏には本発表のデータ収集・整理・グラフ作成の実務を担当頂きました。

「3Dプリンターの文化財研究への応用と課題
…静岡県原分古墳出土の鉄製円筒柄頭の銀象嵌復原を中心に…」

Application and issue to the cultural properties study of the 3D printer

村上　隆（京都美術工芸大学）

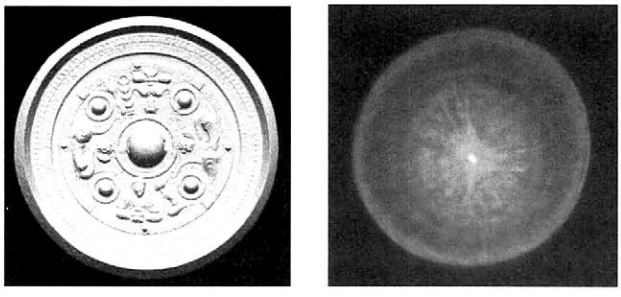
1. はじめに

文化財研究の分野でも3Dプリンターの使用が最近急速に普及し、展示や教育の場で精巧なレプリカの活用が可能となってきた。本研究では、まず金属紛体焼結積層造形法、いわゆる「金属3Dプリンター」を初めて文化財に応用した事例として、愛知県犬山市東之宮古墳出土の三角縁神獣鏡の復原模造とそれによって明らかになった古代青銅鏡の機能について紹介する。次に、静岡県原分古墳出土の鉄製円筒柄頭に施された銀象嵌をX線CT情報に基づき鉄サビの下からの抽出・顕在化した事例を報告する。この柄頭全面に施された銀象嵌は古代象嵌技術の白眉と位置づけられるが、サビの下に隠れているためその全貌をみることができなかった。今回、最新の複数樹脂同時噴射による異材料一体造形法を応用し、遺物から実際にサビを除去せずに銀象嵌が施されたオリジナルな姿を復元することに成功した。3Dプリンターの最新技術の文化財研究への応用事例を紹介するとともに、3Dプリンターを用いる際に派生する課題についても言及する。

2. 愛知県犬山市東之宮古墳出土の三角縁神獣鏡の復原模造による鏡機能の検証[1)]
…金属3Dプリンター（金属紛体焼結積層造形法）の応用…

古代日本における青銅器の代表的存在である三角縁神獣鏡の鏡本来の機能を検証することをめざして復原模造を行った。まず、レーザーを用いた3次元デジタイザーによって精確に形状を計測した。三角縁神獣鏡に対するレーザー計測はこれまでにも行われているが、主に文様のある鏡背を対象としている。今回の計測では、鏡の表裏両面を計測し、鏡そのものを立体的にとらえることを初めて試みた。また、これまで蓄積してきた材質調査の成果[2)]から得たオリジナルな組成から想定される色をバーチャルな画像に載せることにより、制作当初のイメージを作り上げた。

さらに、最新の金属3Dプリンター（金属紛体焼結積層造形法）を用いて、実際の鏡に近い組成（25%スズ含有銅合金）の金属製復原模造品を作成した。これにより、制作当初の姿に極めて近い状態が再現され、完成した復原品により鏡面はモノを映すという鏡本来の機能を実際に体験することができた。また、太陽光の反射像が鏡背側の文様を反映した、いわゆる「魔鏡現象」を起こすことを確認した。この現象は、極端な肉厚差から生じる。肉厚の文様部分は鏡面側で微妙に凹になり光を集光し明るくなり、肉厚の薄い部分は凸になるため光を散光し暗くなることがわかった。従って、肉厚の三角縁部分は円形の鏡面の縁を強調する効果を持つことがわかる。また、鏡面全体が微妙に凸に膨らんでいるのは、反射像を拡大する効果をもたらすことも確認できた。精確な復原を行ったことがもたらした知見は今後の青銅鏡研究に大いに貢献するものと考える。

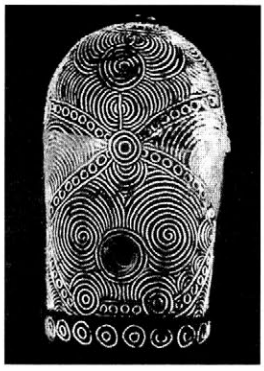


犬山市東之宮古墳出土「二神二獣三角縁神獣鏡」
左:金属3Dプリンターで復原した計測画像[1)]
右:復原鏡に認められた魔鏡現象[1)]

3. 静岡県原分古墳出土の鉄製円筒柄頭の銀象嵌について[3)]

原分古墳は、静岡県長泉町に位置する直径16mの円墳。横穴式石室を有す。平成15～16年に静岡県埋蔵文化財調査研究所(現:静岡県埋蔵文化財センター)が発掘調査を行い、金銅装馬具類、銀象嵌鍔、柄頭をはじめ豪華な副葬品が数多く出土。特に鉄製円筒柄頭は、表面に渦巻文を主体とした象嵌が驚くべき緻密さで施されていることを、マイクロフォーカスX線CTによって確認したことで注目された[3)]。曲面と球面で構成される鉄地金に象嵌を施す技術力は金工技術として特筆すべきであり、また古代人の造形力を研究する上でも極めて貴重な資料である。しかし、銀象嵌の腐食状況を鑑み象嵌を表出することを控えたため、現在でも厚くサビで覆われており、この象嵌を直接見ることはできない。

原分古墳出土円頭大刀柄頭
全長9.cm、幅7.2cm、厚5.5cm



マイクロフォーカスX線CTで確認した銀象嵌
左:側面の銀象嵌だけを抽出
上:頂点から銀象嵌を俯瞰

4. 3Dプリンターによる銀象嵌柄頭の復原

マイクロフォーカスX線CTによって確認した銀象嵌であるが、現状では本体の鉄の腐食が進み、厚くサビで覆われてしまっている。また、銀象嵌自体も鉄サビの下で腐食が進んでおり、象嵌の表出作業は不可能であることがCT画像から読み取れる。しかし、これだけの緻密な文様を実際に本来あるべき姿で確認することができないかと、3Dプリンターによる復原を試みた。用いた技法は、最新の複数樹脂同時噴射による異材料一体造形法である。表面を覆う鉄サビ部分を銀象嵌がある面まで除去し、黒色樹脂の鉄地金の部分を背景に、グレーの銀象嵌を浮かび上がらせるように復原した。

これまでX線CTの画像だけで確認はできていたが、実際に手に取れる資料として見事に復原された銀象嵌はこの柄頭の資料性を改めて高めたと言ってよいだろう。

3Dプリンターで復原した
原分古墳出土円頭大刀柄頭

5. 文化財研究に対する3Dプリンターの応用の課題

3Dプリンターを用いた文化財研究の最新事例2件紹介した。これらの事例からもわかるように、さまざまな計測データをバーチャルな映像の世界から実際に手に取れる資料として復原するために3Dプリンターは大変有効な手段である。今後もこの分野でも大いに活用されるであろう。

しかし、資料復原に有効な手段であるからこそ、データ化のための資料選択、さらにはデータの管理など、さまざまな事態を想定した倫理規定を設けることなどを検討する必要があるだろう。

【協力】コニカミノルタ㈱、凸版印刷㈱、JMP㈱、MXデザイン、㈱八十島プロシード

【参考文献】
1)村上　隆「東之宮古墳出土青銅鏡のデジタル化研究によって新たに得られた知見」『史跡東之宮古墳』(犬山市教育委員会) pp396-412　平成26年3月
2)村上　隆:「三角縁神獣鏡の組成と金属組織　…椿井大塚山古墳出土の三角縁神獣鏡を中心に…」学叢第33号(京都国立博物館) pp41-47　平成23年5月
3)村上　隆・大森信宏・西尾太加二:「静岡県下の古墳から出土した大刀を飾る銀象嵌の技術—マイクロフォーカスX線CTによる情報を中心に—」文化財保存修復学会第29回大会　平成19年6月

大坂城石垣用石材の搬出工程モデルの検討

- 小豆島天狗岩丁場・天狗岩磯丁場を対象とした全地形測量調査とその評価 -

Examination into Model of Carrying Out Process to Osaka Castle Wall Stone in Tenguiwa・Tenguiwaiso Job site, Shodo Island

○茂木孝太郎（同志社大学文化情報学研究科），湯佐安紀子（同志社大学文化情報学研究科）
津村宏臣（同志社大学文化情報学部），川宿田好見（同志社大学文化遺産情報科学研究センター）

1.はじめに

2012年度より、小豆島町と同志社大学文化遺産情報科学研究センターは，小豆島東瀬戸内文化圏「世界遺産化」対象事業の一環として，国指定史跡「天狗岩丁場」を中心とした，小豆島・東瀬戸内沿岸域の石切丁場および石材加工の技術史や海運運搬技術等に関する総合共同研究を開始した。「天狗岩丁場」から切り出された石材は，近世初頭，徳川家の大坂城普請事業により大坂へ運搬されたことは従来から知られており、その作業工程の実態解明を総合調査の1つの基軸研究とし，調査を進めている。本研究では，石材を切り出した「天狗岩丁場」，そこから海岸におろし，再度加工・調整などを行ったとされる岩谷集落亀崎海岸の「天狗磯丁場」，この2つの石切丁場を対象に取り上げ，両調査地全範囲における測量調査を実施した※。

2. 調査と評価

2.1 調査概要

本調査は，小豆島東海岸・岩谷に位置する「天狗岩丁場」（山岳域）および「天狗岩磯丁場」（海岸・海中域）における全域の測量調査により，従来より指摘されていたものの，具体的な証左が得られてこなかった，①石材切り出し②搬出③積み出し④運搬の工程を評価することが目的である。

2.2 天狗岩磯丁場測量

光波測距儀（LaicaTCR705S）により、地形の変化点に視準を立て，ランダムウォークによって視準点の距離と高さを計測した。海中については，視準を安定させるためスキューバダイバー2名・シュノーケル1名をそれぞれ海底・中間・水面に配置し海底面の高さのデータを取得した。計測座標データ点群からデータ内挿（ノーマルクリギング）を行い，メッシュデータを作成し，これから等高線図を作成した(Fig.1)。

2.3 天狗岩丁場測量

基準点測量と点群測量を併行して行った。小豆島町が天狗岩遊歩道工事の際に新設した3級基準点（34°30'26.5803", 134°20'57.324"）（34°20'22.1139", 134°20'54.6798"）の2点を用いて，対象域に基準点38点を設置した。この基準点は閉合トラバース測量によって設定し，各基準点

から LRF による放射トラバース点群測量を行った。先と同様の内挿方法によって，等高線を作成し，「天狗岩磯丁場」におけるデータと統合した（Fig.1）。

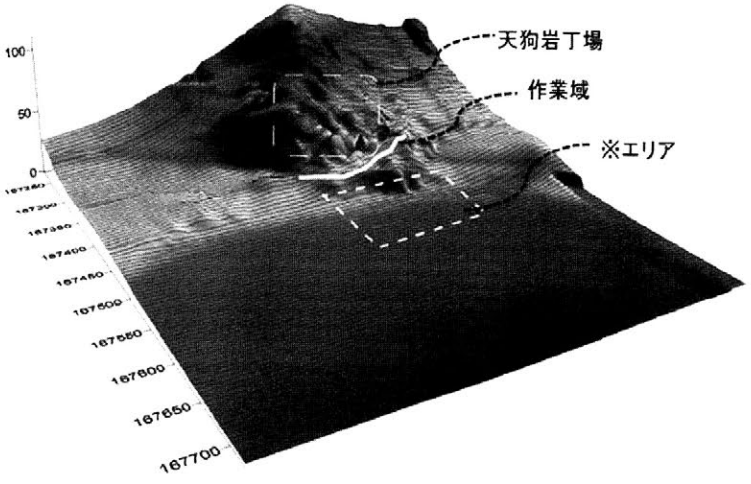


Fig.1 山岳域と海岸・海中域統合地形図

3. データ評価による解釈

発表者らは対象域内の「かもめ石」の構造（巨石に石柱が埋め込まれている）や環境評価から，搬出用船舶の係留施設に関わる水中遺構であると判断し，また，海岸・海中地形データから，海岸地形と離岸流による船を用いた積み出し・運搬工程を推定している(Mogi and Tsumura,2014)。その中では，海岸域内に確認される花崗岩コアストーンからなる 2 つの谷地形が離岸流メカニズム発生に大きな役割を果たしていることを示唆しており(Fig.2)，山岳域（「天狗岩丁場」）地形データとの統合データを見れば（Fig.1），この谷地形の活用によって搬出している関係性も示唆される。

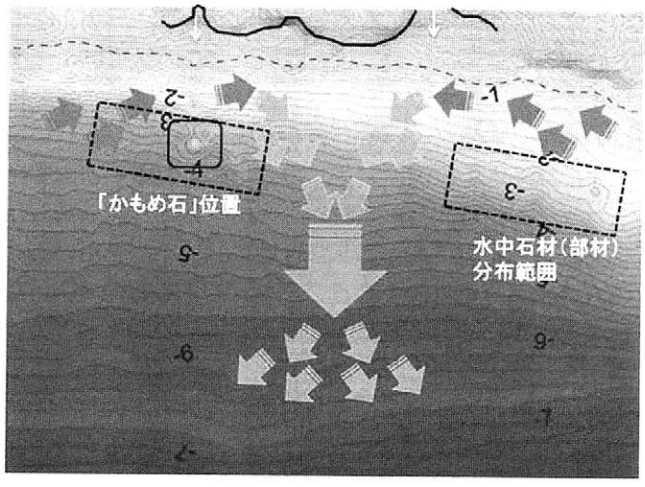


Fig.2 海岸地形と離岸流の発生(Fig.1※エリア)

4. 今後の展望

発表者らは全域の地形測量と併せて，石材分布データも構築している。同様の構造物の痕跡が千振島（小豆島土庄町）で確認されており，2014 年調査実施予定である。

参考文献 Kotaro Mogi, Hiroomi Tsumura (2014)「Examining Coastal Shipping Process around Shodo Island during Tokugawa Period.」『Proceedings of the 2nd Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage』p.p619-629, Honolulu

津村宏臣(2013)「天狗岩磯丁場および海底遺構調査からわかる海洋民の“文化景観”」『小豆島石の魅力創造シンポジウム』小豆島石の魅力創造シンポジウム資料集 p.p61-67

※本調査は平成 24 年度公益財団法人福武財団「瀬戸内海文化研究活動支援助成」，「小豆島町（岩谷）の天狗岩丁場を中心とした文化景観の記録と保存に関する研究」委託研究費のもとに実施した。

マスタバ・イドゥートの壁画中に存在する経年劣化した動物膠の分析

Characterization of degradate animal glue in the wall paintings of the Idout Tomb

○深草俊輔(奈良女子大学)、河原一樹(大阪大学)、アフメド・シュエイブ(カイロ大学)、
アーデル・アカリシュ(ナショナル・リサーチ・センター)、吹田浩(関西大学)、荒川隆一(関西大学)、
中沢隆(奈良女子大学)

○Shunsuke Fukakusa (Nara Women's University), Kazuki Kawahara (Osaka University),
Ahmed Sayed Shoeib (Cairo University), Adel Akarish (National Research Centre),
Hiroshi Suita (Kansai University), and Ryuichi Arakawa (Kansai University),
Takashi Nakazawa (Nara Women's University)

1. はじめに

動物膠は彩色の接着剤として使用されるもっとも古い素材の一つであり、その原料動物種の同定は古代の動物利用を知る上で重要であるのみならず、絵画や壁画などの文化財の保存・修復作業においても有益である。しかしながら、タンパク質は数百年から数千年間に起こる様々な化学変化により容易に劣化し、分解してしまうことから、古文化財中の膠の検出は一般的に難しく、原料となった動物種の化学分析による同定も極めて困難である。

この問題に対して、最近我々の研究グループでは、生命科学分野で微量なタンパク質の同定法として利用されているマトリックス支援レーザー脱離イオン化（MALDI）質量分析法がそのような古文化財に対して適用可能であることを見出し、紀元前2360年にエジプトで建設された地下墓であるマスタバ・イドゥートの壁画の剥落片の分析から、壁画の固着剤として利用されたと考えられる膠の原料であるコラーゲンのペプチド断片を検出することに成功した。[1] この結果は、およそ数千年が経過した文化財試料であっても、適した自然科学的手法を用いることにより、その中に残存するタンパク質などの有機物が分析可能であることを示唆するものであったが、一方で、分析した試料は保存環境や経年による劣化、そして試料運搬時の不純物の混入などの要因により高度に汚染されており、それらの影響から、膠の原料となった動物種や原料部位を特定することはできなかった。

そこで我々は、試料中に多数含まれている不純物を予め分離し、高感度でタンパク質・ペプチドの同定を行うための方法として、ナノ液体クロマトグラフィー・エレクトロスプレーイオン化タンデム質量分析（ナノ LC/ESI-MS/MS）法を採用し、マスタバ・イドゥートの壁画の剥落片の分析に適用した。その結果、微量の彩色片から経年劣化部位を含む多数のウシI型およびIII型コラーゲンに相当するアミノ酸配列のペプチドを検出することに成功したので今回報告する。

2. 試料および実験方法

実験試料：壁画試料として、イドゥートのマスタバの地下埋葬室内にある壁画の剥落片の一部（赤色表面）を用いた（図1）。

試料調製：剥落片の表面の赤色彩色部位を、純水1 mLを使用して洗いながら削り取り、乳鉢上で磨り潰した後、得られた溶液を60℃で1時間振盪させ、溶液中に含まれるタンパク質を変性させた。その後、試料溶液に5 μLのタンパク質分解酵素トリプシン溶液（20 μg/μL）を加えて、37℃で24時間酵素消化し、ペプチド断片の混合物とした後、脱塩・濃縮を行い、液量を約100 μLまで減らした。得られた溶液は、適量の0.1% トリフルオロ酢酸を加え、酸性（pH < 4.0）にした後、チップ型C18樹脂充填カラム（Ziptip C18、ミリポア株式会社）で更に脱塩・濃縮を行い、最終的な液量を10 μLとし、質量分析に供した。

質量分析：ナノ液体クロマトグラフィー・エレクトロスプレーイオン化タンデム質量分析（ナノ LC-ESI-MS/MS）は、高耐圧ナノ LC システム（ADVANCE UHPLC、AMR 株式会社）をリニアイオントラップ型質量分析計（LTQ XL、サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社）に接続した装置構成で実施した。[3] ナノ LC は、分析カラムに Zaplous alpha Pep C18（AMR 株式会社）を使用し、

500 nL/min の流速で 0.1% ギ酸:100% アセトニトリルの比率を 100:0 から 50:50 に 40 分間かけて段階的に変化させる溶出方法を用い、分離後の溶出成分をエレクトロスプレーイオン化法により質量分析した。データベースに基づくタンパク質の同定には、プログラム SEQUEST を利用した。

3. 結果と考察

イドゥートのマスタバの地下埋葬室内から収集した壁画の剥落片（図１）から有機物を抽出し、酵素処理した後、ナノ LC-ESI-MS/MS を用いて分析することで、多数のペプチドを検出することができた（図２）。現時点で、検出された各ペプチドのそれぞれに質量分析装置内でガスを衝突させて得られる分解物の MS/MS スペクトルを合計 10,496 スペクトル収集し、既存のタンパク質のアミノ酸配列データベースを基にしたデータベース検索によって、25 種類のウシ I 型もしくは III 型コラーゲン由来のペプチドを同定することが出来た。特に、III 型コラーゲンは、皮に特徴的に含まれることから、今回分析した壁画に用いられた膠はウシ皮由来であることが示唆された。また、検出されたペプチドのうち半数以上の 13 種類のペプチドは配列中のアスパラギン（N）もしくはグルタミン（Q）が経年劣化により脱アミド化していることも明らかとなった。今回の分析では、不純物であるヒト由来ケラチンや微生物に由来すると思われるペプチドも検出されているが、依然として約 99%の MS/MS スペクトルが未同定であり、その中には、脱アミド化以外の化学修飾が施されたことによって、同定できなかったコラーゲン由来ペプチドも含まれると思われる。また、興味深いことに今回検出されたコラーゲン由来ペプチドをコラーゲンのアミノ酸配列上にマッピングすると、特定の部位に集中していることがわかり、尚且つ以前に他のグループによって報告された 6800 万年前の恐竜から検出されたコラーゲン由来のペプチド配列 (3) とも同様の位置が残存して検出されていることが明らかになった。今後より多くの分析結果を集める必要があるが、コラーゲンは生体内で三量体構造を形成する性質があることを考慮すると、これらの結果は、コラーゲン分子集合体特有の三量体構造が文化財中での膠の経年劣化の進行に大きな影響を及ぼす可能性を示唆するものである。

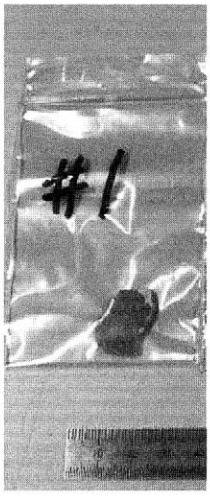


図1 分析に供した壁画の剥落片

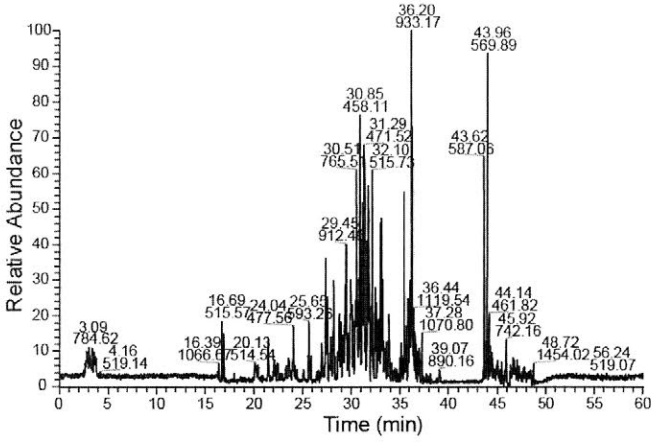


図2 ナノ LC-ESI-MS/MS の結果得られたベースピーククロマトグラム

参考文献

(1)河原一樹、中沢隆、川﨑英也、浅井重博、アフメド・シュエイブ、アーデル・アカリシュ、吹田浩、荒川隆一（2012 年）「MALDI 質量分析法による壁画に使用された接着剤原料の検出」『日本文化財科学会第 29 回大会研究発表要旨集』pp 26-27..

(2) Kawahara K., Yamada, M., Okada, F., Muguruma, M., Matsuo, Y., Miyaji, A., Kobayashi, Y., and Nakazawa, T. (2012) "Identification of archaeological silk proteins by MALDI and ESI mass spectrometry" *Proceedings of the 60th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics* p. 563.

(3) Antonio J.D.S., Schweizer M.H., Jensen S.T., Kalluri R., Buckley M., Orgel J.P.R.O. (2011) "Dinosaur Peptides Suggest Mechanisms of Protein Survival" PLoS ONE 6, e20381.

文化財修復に用いられた合成樹脂の劣化に関する研究

Study on the degradation of synthetic resin that was used to repair cultural assets

○森祐樹（明治大学）、本多貴之（同左）、早川典子（東京文化財研究所）

1. はじめに

日本に現存する文化財の大半は天然物で構成されており、作成当時から近年に至るまで数百年以上の年月が経過している。長い時間大気や光に晒された文化財は、経年劣化による変色や欠損といった現象を引き起こしてしまう。劣化した文化財の修復には動物由来の膠や、デンプン糊、あるいは海産物である布海苔の抽出溶液が用いられてきたが、天然物であるため調製が安定しない、微生物被害が生じやすいなどの現象もあり、昭和 20 年台から、合成高分子が使用されるようになってきた。しかし、これらの高分子も有機化合物であるため、大気中の酸素や光の影響で分子構造の変化が生じる。文化財に使用された合成高分子としては、水溶性高分子であるポリビニルアルコール（PVA）が、劣化により白濁化や剥落などの現象を生じ、除去が困難な場合があるとの報告がなされている[1]。一方でPVA以外にもアクリル樹脂が広く修復材料として用いられてきており、現在でも使用されているため、その劣化の予測が必要とされている。よって本研究では、アクリル樹脂に対して劣化促進試験を行い、その物性や化学構造の変化について研究を行った。

2. 試料

文化財修復によく用いられたアクリル樹脂としてRohm & Haas社製のプライマルAC-3444とパラロイドB72の二つが挙げられる[2]。また、現在はAC-3444販売が終了となっており、同系列品のプライマルAC-2235が最近の修復では用いられている。今回はこの三種について実験を行ったので報告する。

◆パラロイドB72 … ペレット状樹脂。メタクリル酸エチル（EMA）とアクリル酸メチル（MA）の共重合ポリマー。有機溶媒に溶解させて接着剤として使用する。剥落止めや木材強化に用いられた。
◆プライマルAC-3444 … 水系アクリルエマルション樹脂。絵画の剥落止めや、木材強化に用いられた。
◆プライマルAC-2235 … 水系アクリルエマルション樹脂。AC-3444と同じような目的で使用されている。

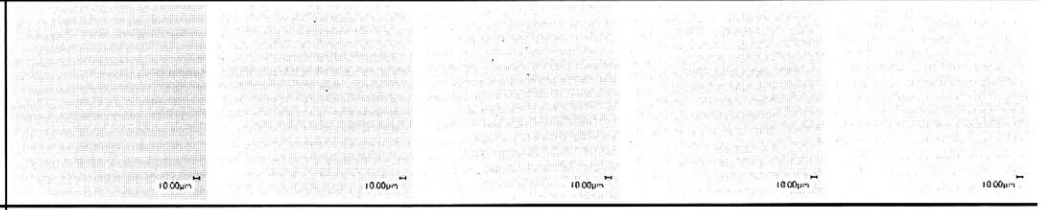
3. 実験手法

経年劣化の主な原因としては、大気中の酸素や湿度、及び太陽光の紫外線による酸化反応が主として挙げられる。よって今回の実験はまず紫外線ランプを用いた劣化促進反応を行い、その挙動の解析を行った。それぞれのアクリル樹脂をガラスプレート、もしくはガラスシャーレ上に成膜を行い、室温で5日間乾燥させ塗膜を得た。プライマルの二種はエマルション溶液である為、膜厚や膜の色味が不均一であったがパラロイドは無色透明の塗膜が得られた。この塗膜に対して大気雰囲気下で適宜時間紫外線を照射した。波長は185 nm, 254 nm, 365 nmの三種類をそれぞれ使用した。照射を行ったアクリル樹脂膜を実験サンプルとし、各種分析機器にて測定を行った。

4. 結果と考察

結果の一例として、パラロイドB72の塗膜に対して紫外線照を行い、表面の様子をマイクロスコープ(500倍) と色差計で観察した結果を表に示す。劣化促進には株式会社三共電気製UV ランプ GL8ZH (波長 185 nm、出力 2.5 ± 0.5 mW/cm^2)を用いた。照射環境は温度：29±2℃、湿度：35±5%であった。

表 紫外線照射前後のパラロイドB72 表面の様子

	紫外線照射時間 (h)				
	0	0.25	0.5	1	2
X500					
L*	87.25	87.50	87.77	87.40	87.72
a*	0.17	0.14	0.10	0.17	0.17
b*	0.12	0.30	0.25	0.05	0.16
	紫外線照射時間 (h)				
	3	6	9	12	24
X500					
L*	87.05	83.56	83.56	84.12	81.04
a*	0.56	1.13	1.71	1.52	1.03
b*	1.81	6.03	13.30	14.57	19.00

マイクロスコープで撮影した表面を観察すると、紫外線の照射によって0~3時間までは大きな変化を見せないが、3時間以降はその表面に微細なホールが生じた。さらにホール数がある一定量を超えると表面が応力によって波打ち、9 時間以降ではシワが生じたことが示唆された。一方で黄色味を表すb*の値も 3 時間以降は顕著に増加していることがわかる。ATR-FT/IR を用いてB72 の表面に対して赤外分光分析を行った (図)。図中の矢印で示す1600 cm^{-1}付近のピークは二重結合由来のピークであり、紫外線を照射する事でショルダーピークとなっていることが確認できる。よって黄色味の増加した原因はB72 の主成分であるアクリル酸やメタクリル酸に二重結合が生じた為であると考えられる。

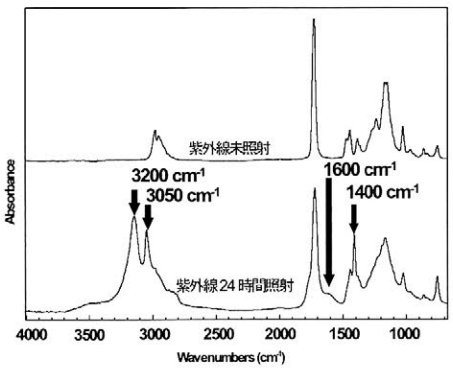


図 パラロイドB72 のFT/IR スペクトル

5. まとめ

口頭では他の分析機器を用いたデータ及び、他のアクリル樹脂も同様に劣化促進と分析を行い、劣化させた樹脂の見た目と化学状態の変化の関係についてより詳細に解説する。

1) Yusuke Okada, Wataru Kawanobe, Noriko Hayakawa. Polymer Journal (2011) 43, 74-77

2) Wataru Kawanobe. National Museum of Ethnology Research Report (2003) 36, 103-114

X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査

―福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の取り上げ・構造解析から公開活用―

Research to obtain a wealth of information artifacts that discovered from the sites using X-ray CT scanner

○加藤和歳(九州歴史資料館)・小林啓(同左)・山崎悠郁子(同左)・今津節生(九州国立博物館)・輪田慧(同左)
森下靖士(古賀市教育委員会)・甲斐孝司(同左)・横田義章(同左)
○Kazutoshi Kato・Akira Kobayashi・Yuiko Yamasaki(Kyushu Historical Museum)　Setsuo Imazu・Kei Wada(Kyushu National Museum)　Yasushi Morishita・Koji Kai・Yoshiaki Yokota(Koga City Board of Education)

1. はじめに

平成25年3月、福岡県古賀市に所在する船原古墳(ふなばるこふん)に隣接して、古墳時代後期のもの考えられる馬具、武具、武器等、大量の遺物が埋納されている大型土坑(遺物埋納坑)が発見された。

出土遺物は、質、量ともに極めて重要性が高く、それらが重層的に検出される等、出土状況の特異性もあり、かつ遺存状態が良好であったことから、通常の古墳主体部から出土する副葬品では発見されない、有機質をはじめとする豊富な情報が遺されていた。

こうした発見にあたり、X線CTスキャナの利用を核とした調査手法を構築し、遺物本体および周辺に遺る情報を可能な限り、引き出し、保存・公開・活用する取り組みについて紹介していきたい。

2. 遺物に遺された豊富なデータの科学的分析から公開・活用を目指した取り上げ

豊富に遺る有機質遺物や重層している遺物の位置情報、土壌に埋蔵されている各種痕跡の記録を目指し、まず、平面的な情報を三次元計測により記録し、その後、X線CTスキャナを利用して立体的な情報を得ることを目指した。つまり、三次元計測データとCTデータを統合して、出土位置と土壌に埋蔵される情報を、一体化された、デジタルデータによって立体的に把握するものである。

こうした調査を行うため遺物は、医療用ギブス、液体窒素等を複合的に用いて、可能な限り、周囲の土壌ごと、ブロック単位にして取り上げ、重層する遺物は現場で分離せず、相互に付着したまま取り上げた。取り上げ総数は、金属器だけでも200個体以上あるが、遺物の総数は1000点をゆうに超えるものとみられる。

3. X線CTスキャナを利用した構造解析・土壌中に遺る情報の可視化

室内に搬入した遺物は、X線CTスキャナ(九州歴史資料館設置　YXRON International Y.CT Precision S)により遺物の内部構造や土壌内に残されている有機質遺物を客観的に可視化し、金銅製杏葉には周囲の土壌中に繊維が遺存していることがわかった。また、デジタル技術を応用することで、修復前にCGによる復元や、3Dプリンタを利用したデジタルモデルの作成等が可能である。CT調査の過程において、板状の銅板がわずかに露出するのみの土壌塊の中から、金銅製歩揺付雲珠を見いだし、さらにCGによる復元により、これまで例を見ない新しいスタイルであることを発見した。

4. 本調査を行う意義

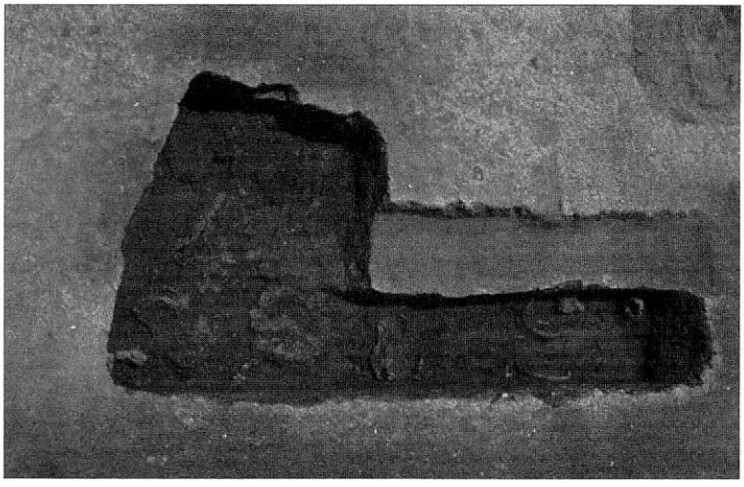
この取り上げ方法からCT調査への過程は、重層的に副葬された遺物の位置関係を保持したまま記録することができ、通常、現場で土壌を除去し、遺物を表出することで消失しかねない表面や隙間に遺存する情報を把握できる利点がある。今回のような出土状況のような場合、困難を極める、遺物周辺の有機質遺物をはじめとするミクロな観察や記録、複雑な構造をもつ馬具類の復元や、豊富な情報を基に実施できる保存修復作業の精緻化といっ

た点に効果が期待される。加えて、現場担当者サイドにとっては、調査期間の短縮、効率化や土壌中に含まれる情報を得る調査に有用性がある、という認識が深まることを期待したい。

また、デジタルデータによる記録は、旧来の写真、実測図を利用した成果公開の他、視覚のみならず触覚をも使える等、誰にでもわかる多様な成果公開が可能となる。遺物はまだ修復を開始していないものの、形状等の情報を得たことにより、3D デジタルモデルを作成でき、それを利用した報道発表やテレビ番組、速報展示を通じて、一般に周知され、反響、理解を得ている。また、CT データや3D デジタルモデルを利用した遺物の検討もすでにスタートしており、考古学的な研究を行う十分な時間を確保でき、新たな知見を十分に活かした保存修復に進むことができる。

今後は、三次元計測データとCT データの統合、画像解析等により、データを整備し、遺跡・遺物の研究や保存修復を進捗させていく予定である。

【参考文献】森下靖士・加藤和歳 2013「古賀市船原古墳遺物埋納坑の調査速報」『平成25年度九州考古学会総会研究発表資料集』九州考古学会　なお、船原古墳は調査過程にあるため、今後、名称等の修正等があることをご了承いただきたい。

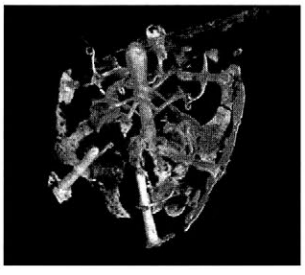


▲船原古墳遺物埋納坑全景

▲取り上げ作業状況

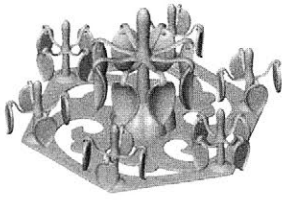
X線CTによる金銅製歩揺付雲珠の復元

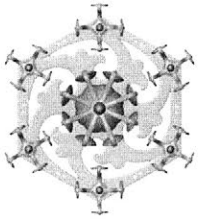
① 取り上げた状態



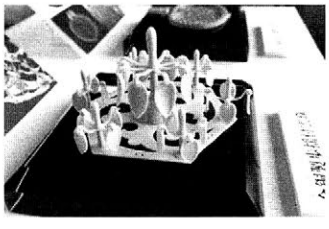
② CT画像

③ CT画像をCGで展開





④ 復元された金銅製歩揺付雲珠



⑤ 3Dデジタルモデル作成

史跡ガランドヤ古墳の保存に関する研究−結露の抑制方法に関する検討−

Control methods of condensation occurred in the stone chamber to restrain the deterioration of decorated stone of Garandoya tumulus

○脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、小椋大輔（京都大学大学院）、高妻洋成（奈良文化財研究所）
○Soichiro Wakiya[1)], Daisuke Ogura[2)], Yohsei Kohdzuma[1)]
1) Nara National Research Institute for Cultural Properties, 2) Kyoto University

1. はじめに　ガランドヤ古墳の石室石材表層に見られる剥離は、石材表面の乾湿繰り返しが主たる要因と考えられることから、本研究では石材表面の結露を抑制することが、本古墳の装飾の保存の解と考える。石室が露出していた以前の状態では、夏期に絶対湿度が高い外気が石室内へ侵入する一方で、室内側石材表面温度の上昇が遅れることによって、また冬期は封土を持たない天井石が夜間放射によって冷却されるため、石室内石材表面で通年結露が発生していた。石室保護施設として、コンクリート製躯体および、その上部に盛土が施工された後は、夜間放射による結露の発生は抑制され得ると考えられることから、本稿では夏期の結露発生を抑制する手法について検討した。

2. 解析による検討項目と解析条件　ガランドヤ1号墳の石室保護施設は、露出している石室をコンクリート製の躯体で覆い、さらに躯体を盛土（以下、復元マウンド）で覆うもので、躯体内部に空間を有する。本研究では石室の室内側石材表面の結露を抑制することを目的として、1）石室内空気の絶対湿度を低い値に維持する、2）夏期に石室内側石材表面温度を上昇させる方法について検討した。1）については、外気と躯体内空気間の換気量を季節に応じて調整することに加え、冬期に湿気の供給元となり得る躯体内部の地表面を断湿材で覆うことの効果について検討した。2）については、熱源によって室内側石材表面を温めることの効果について検討した。解析モデルは復元マウンドを有する鉛直一次元モデルで、解析方法を表1に示す。外気と躯体内空気の換気については、4月−10月は0.1回/時間、そのほかの期間では1.5回/時間とした（換気能力の上限値）。また、躯体内空気と石室内空気との間の換気量も上記と同量の体積とした。躯体内部地表面を断湿としたモデルでは、断湿材表面の吸放湿性を考慮した。

表1　解析方法

基礎方程式	土壌、石材内部：熱水分同時移動方程式 石室内、躯体内：室空気を1質点で代表した熱水分収支式
気象条件	現地気象観測値
熱・水分移動の物性値	土壌：実測値（熱伝導率は文献値[1)]） 石材：コンクリートの文献値を使用
計算方法	前進型有限差分法
計算期間	2012年1月1日〜2012年12月31日 （周期的定常状態を得るまで反復計算）

3. 結果と考察　石室内空気の絶対湿度と相対湿度変化を図1、2に示す。図に示したように、冬期（11月から3月）は絶対湿度の低い外気を積極的に取り込み、また夏期の換気を極力抑えることで、1年を通して低い湿度を維持し得ることが示唆された。また、躯体内部の地表面の土壌が露出した状態では、冬期の湿度は比較的高い値を示すが、これを断湿材で覆うことで冬期の湿度を低下させ得ることが示唆された。図3に示した石室内空気温度から石室内の熱源の熱量を変化させた場合、石室内空気温度に若干の差異が生じるものの、いずれの場合も年平均値は約16℃程度と低く、かつ年周期の変動が殆ど認められないことから、安定した状態が得られるものと考えられる。図4に躯体内側表面の結露発生量を示す。地表面土壌を露出した場合、冬期から春期にかけて、躯体天井部において結露が発生することが示唆される一方で、躯体内部地表面を断湿とした場合、結露は年間を通して生じないことが示唆された。なお、石室内側石材表面（ここでは一次元なので、天井石内側表面）では年間を通して結露の発生は認められなかったので、結果は割愛した。図5、6に各境界における水分フラックスを示す。縦軸正の値は、土壌あるいは石材から空気への水分移動、負の値は空気から土壌あるいは石材へ水分が移動することを示す。図5の結果からも絶対湿度が低い冬期の外気を換気によって取り込む時期では、躯体内部の地表面から相当量の水分が蒸

発する一方で、夏期では吸湿していることが認められる。図６の結果からは、躯体内地表面を断湿とした場合、内部の湿気の供給源は石室内床面土壌におおむね限定されることが示唆された。また、夏期に地表面から湿気の供給が認められるが、これは躯体内地表に結露した水分の再蒸発と考えられる。したがって、結露水を効果的に排水することが可能であれば、さらに空気中の絶対湿度を低下させ得ると思われる。

4. 結論　本稿では鉛直一次元の解析から、石室内空気への加熱、躯体内部空間の地表面への断湿材の適用について検討した。冬期は積極的な換気、夏期は換気を抑制することで、石室内空気は絶対湿度、温度ともに年間を通して、非常に安定した状態を維持し得ることが示唆された。また、冬期の湿気の供給源は土壌からの水分蒸発と考えられ、石室床面と比較して圧倒的な面積を占める躯体内地表面を断湿とすることで、冬期の絶対湿度を低下させることが可能となり、躯体内側表面の結露を抑制し得ることが示唆された。したがって、地表面の断湿はガランドヤ古墳の保存環境制御において非常に効果的と考えられる。天井石内側表面においては、熱量の大小にかかわらず結露の発生は認められなかった。しかし、夏期の結露発生危険箇所は側壁底部なので、この点については二次元の解析が必要となる。あらためて、結露の有無と熱量の関係について検討をおこなう必要があると考える。

【謝辞】本研究を実施するにあたり日田市教育庁文化財保護課に多大なるご協力を頂きました。ここに記して深く謝意を申し上げます。また本研究は科研費（課題番号：25750108）の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表します。

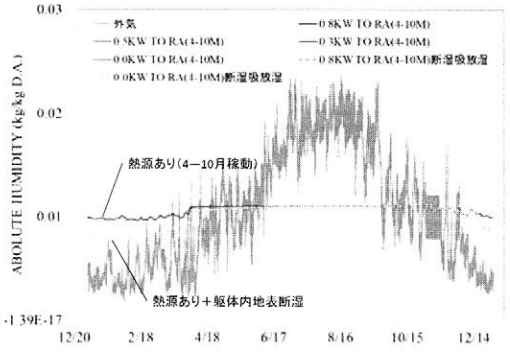


図１　石室内空気の絶対湿度の年変化

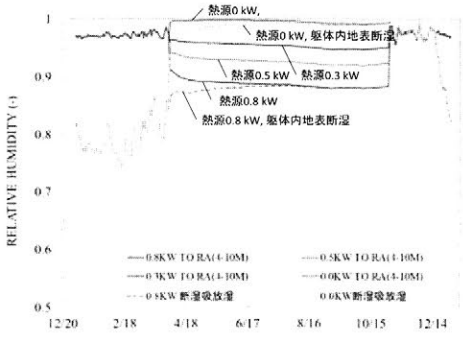


図２　石室内空気の相対湿度の年変化

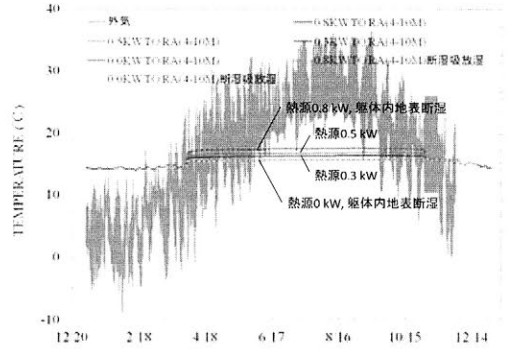


図３　石室内空気温度の年変化

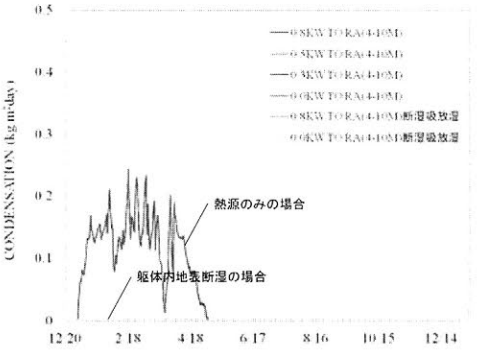


図４　躯体内部コンクリート表面の結露量

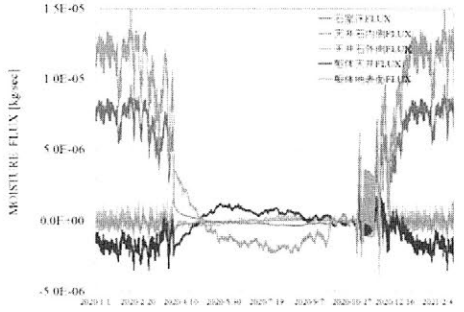


図５　各境界の水分フラックス（地表土壌露出）

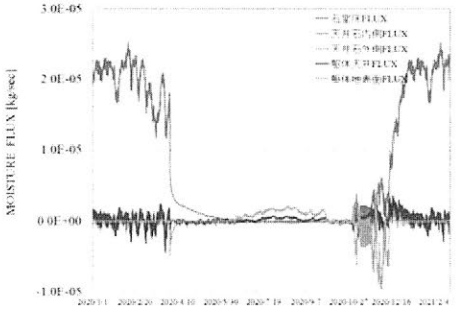


図６　各境界の水分フラックス（地表断湿）