日本文化財科学会第27回大会

27th Annual Meeting of the Japan Society for Scientific Studies on Cultural Property

日本文化財科学会

■特別セッション：

『海外の文化財の調査・保存と現状』

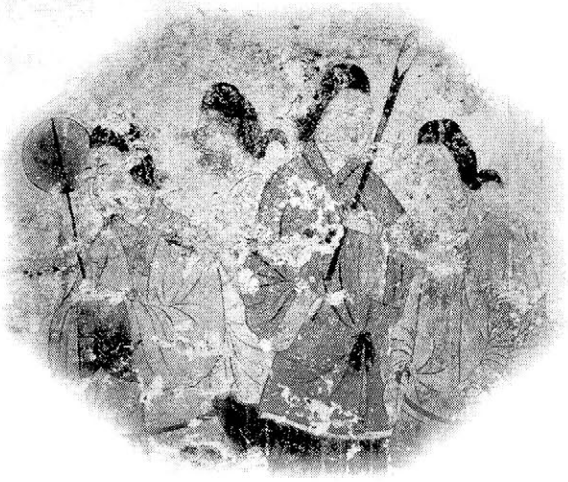
◉司会　　**西浦忠輝**（国士舘大学）

◉インド　　**米田文孝**（関西大学）
【　祇園精舎発掘プロジェクト　】

◉カンボジア　**沢田正昭**（国士舘大学）
【　アンコールワットプロジェクト　】

◉シリア　　**西藤清秀**（橿原考古学研究所）
【　パルミラ発掘プロジェクト　】

◉エジプト　　**吹田 浩**（関西大学）
【　サッカラ壁画保存プロジェクト　】



「関西大学高松塚古墳壁画再現展示室」陶板　①
※関西大学博物館　②

■開催日程

6月26日（土）

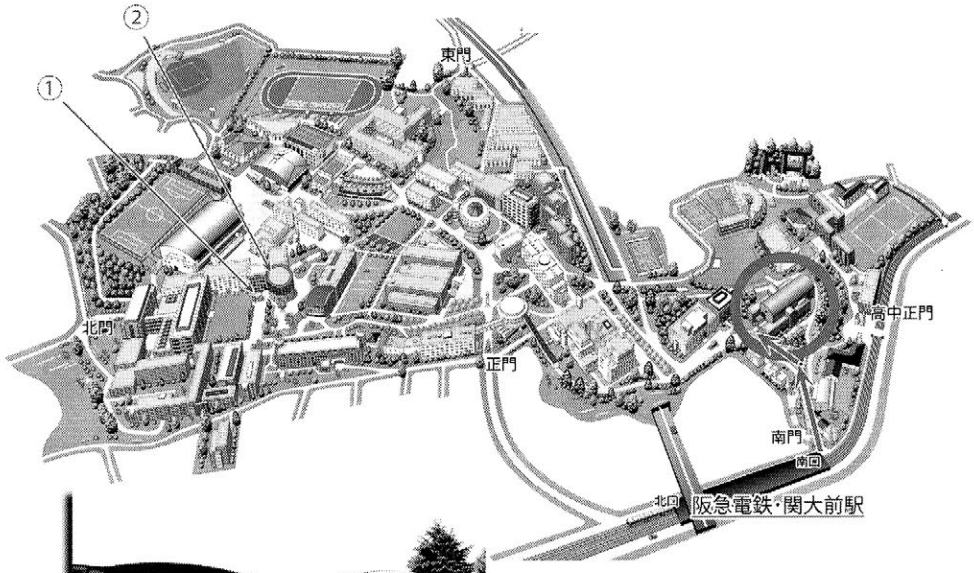
受付開始	9:00 - 9:30
開会の挨拶	9:30 - 9:40
口頭発表	**9:40 - 12:09**
昼休み	12:09 - 13:30
（ポスター解説	**12:30 - 13:30）**
口頭発表	**13:30 - 17:34**
機器展示解説	**17:35 - 18:15**
懇親会	18:15 - 20:15

6月27日（日）

受付開始	9:00 - 9:30
口頭発表	**9:30 - 11:00**
総会	**11:10 - 12:10**
昼休み	12:10 - 13:30
（ポスター解説	**12:30 - 13:30）**
【特別セッション	
『海外の文化財の調査・保存と現状』】	
	13:30 - 15:00
口頭発表	**15:10 - 17:03**
【特別セッション 探査	**15:51-】**
閉会の挨拶	17:10 - 17:15

■会場

関西大学　100周年記念会館



電車でお越しの方は、
阪急関大前駅・南口（千里山方向で、後部側）から出て、
南門よりエスカレーターを
ご利用されると便利です。

日本文化財科学会第27回大会・2010年度総会　プログラム

口頭発表

※口頭発表は、第一会場（ホール1）と
第二会場（第一特別会議室）の２つの会場となります。
発表は15分、質疑応答の3分の計18分です。

第一日目　　6月26日（土）

受付　　**9：00～9：30**

開会挨拶（ホール1）　　**9：30～9：40**

日本文化財科学会会長　　沢田正昭
関西大学副学長　　市原靖久
第27回大会実行委員長　　吹田 浩

第一会場（ホール1）	第二会場（第一特別会議室）
9：40～10：52 **文化財科学一般①** 鳥越俊行(九州国立博物館)　尾崎誠(元興寺文化財研究所)	**9：40～10：52** **保存科学①** 犬塚将英(東京文化財研究所)　伊藤健司(元興寺文化財研究所)
A-01 **X線分析顕微鏡による潜在指紋検出（ニンヒドリン法）と呈色反応物の還元消去処理を受けた封筒に残る「ブルーブラック・インク」と「青色ボールペン・インク」の非破壊同定** ○下山 進、高木秀明、大下浩司　(吉備国際大学)	**B-01** **煉瓦造建造物の予防的保存のための劣化診断法の構築―第二報　旧富岡製糸場木骨煉瓦造建造物における温度湿度の緩衝とレンガの劣化診断―** ○河崎衣美[1]、松井敏也[1]、結城雅則[2]、斎藤英俊[1] (1筑波大学、2富岡市教育委員会)
A-02 **国宝高松塚古墳壁画の劣化原因―高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会による報告書の概要―** ○建石 徹、宇田川滋正、栗原祐司　(文化庁文化財部古墳壁画室)	**B-02** **ミリ波およびテラヘルツ波の文化財への応用Ⅰ―層構造調査へのテラヘルツ波イメージング技法の基礎研究―** ○高妻洋成[1]、金 旻貞[2]、福永 香[3]、碇 智文[4]、脇谷草一郎[1]、 降幡順子[1]、藤原裕子[2]、藤井義久[2] (1奈良文化財研究所、2京都大学大学院、3国立情報通信機構、 4スペクトルデザイン)
A-03 **大谷コレクション「李柏文書」の科学分析** ○坂本昭二[1]、倉石沙織[1]、江南和幸[1]、岡田至弘[1]、池田和彦[2]、 坂田雅之[2]、河野益近[3] (1龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター、 2株式会社坂田墨珠堂、3京都大学大学院工学研究科)	**B-03** **「地域」を考慮した持続可能な文化遺産保存・活用活動の可能性（2）―岩手県大槌町大槌代官所跡水浸出土木製遺物の保存処理および収蔵を事例として―** ○手代木美穂[1]、鎌田精造[2]、松井敏也[3]、米村祥央[4]、片岡太郎[5]、 松田泰典[6] (1前東北芸術工科大学、2岩手県大槌町教育委員会、3筑波大学、 4東北芸術工科大学、5東北大学学術資源研究公開センター、 6JICA大エジプト博物館保存修復センタープロジェクト専門家)
A-04 **大阪府八尾市大竹西遺跡出土鉄剣の埋蔵環境と腐食** ○三ツ井誠一郎[1]、藤井淳弘[2]、樋口めぐみ[3]、西村公助[4] (1日本原子力研究開発機構、2八尾市教育委員会、 3八尾市立歴史民俗資料館、4㈱八尾市文化財調査研究会)	**B-04** **桜井茶臼山古墳の木棺の劣化状態** ○酒井温子[1]、奥山誠義[2]、岡林孝作[2]、豊岡卓之[2]、寺澤 薫[2] (1奈良県森林技術センター、2奈良県立橿原考古学研究所)

休憩　　**10：52～10：57**

10：57～12：09 文化財科学一般②	10：57～11：51 保存科学②
米村祥央(東北芸術工科大学)　日高真吾(国立民族学博物館)	木川りか(東京文化財研究所)　佐野千絵(東京文化財研究所)
A-05 **日本出土イノシシ類頭蓋の多様性とその解釈** ○富岡直人　(岡山理科大学総合情報学部)	**B-05** **遺伝子発現解析による糸状菌のモニタリング** ○杉山智昭、小林幸雄　(北海道開拓記念館)
A-06 **新時代を迎えた大型古墳測量** ○西藤清秀[1]、藤井紀綱[2] (1奈良県立橿原考古学研究所、2アジア航測株式会社)	**B-06** **絹繊維の分解劣化における鉄還元菌の影響** ○李 素妍[1]、松井敏也[2]、吉川英樹[3] (1筑波大学大学院、2筑波大学 3日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門)
A-07 **モンゴル国文化遺産のデジタルドキュメンテーションに関する研究** ○山口欧志、清水奈都紀 (同志社大学文化遺産情報科学研究センター)	**B-08** **環境順応型収蔵庫システムの構築（第１報）** ○西山要輔[1]、大久保衛[2]、新谷幸雄[3]、西山要一[4] (1本学会会員、2ソダ工業、3サンロード、4奈良大学)
A-08 **タイ北部に所在する仏塔の常時微動調査―地震対策の有効性の評価指針として―** ○中村 豊[1]、原本知実[2]、二神葉子[2] (1㈱SDR・東京工業大学、2東京文化財研究所)	**休憩　11：51～**

昼休憩　12：09～13：30

【　ポスター解説　12：30～13：30　】

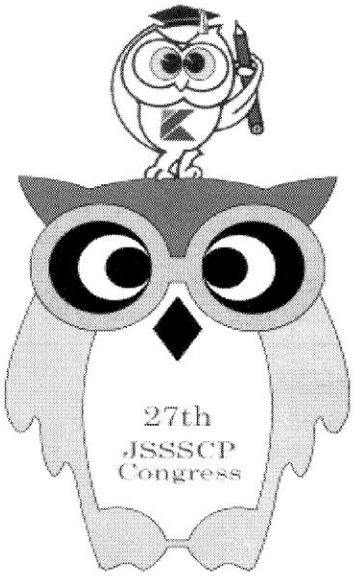
13：30～14：24 文化財科学一般③	13：30～14：24 保存科学③
田口 尚(北海道埋蔵文化財センター)　石崎武志(東京文化財研究所)	三浦定俊(文化財虫害研究所)　金原正明(奈良教育大学)
A-09 **池島・福万寺遺跡にみる農耕と災害の関係史** ○木村栄美[1]、宇田津徹朗[2]、松田隆二[3]、北川淳子[4]、藤井伸二[5]、 大庭重信[6]、井上智博[7]、田中克典[1]、佐藤洋一郎[1] (1総合地球環境学研究所、2宮崎大学附属農業博物館、 3㈱古環境研究所、4国際日本文化研究センター、5人間環境大学、 6大阪府文化財研究所、7大阪府文化財センター)	**B-09** **西安唐代陵墓石彫像の保存修復** ○西浦忠輝[1]、岡田 健[2]、根立研介[3]、矢野和之[4]、斉 揚[5]、馬 濤[5]、李 衛[5]、 張 建林[6] (1国士舘大学、2東京文化財研究所、3京都大学、4文化財保存計画協会、 5西安文物保護修復中心、6陝西省考古研究院)
A-10 **フィールドネットワークシステムを構築している土壌水分センサーの土壌、温度、塩類の影響に関する研究** ○三石正一[1]、溝口 勝[2] (1アイネクス株式会社・東京大学大学院、 2東京大学大学院農学生命科学研究科)	**B-10** **レバノン共和国所在壁画地下墓ブルジュ・アル・シャマリT.01の保存修復研究（1）** ○西山要一[1]、小林有紀子[2]、倉賀野健[1]、高橋健太郎[1]、中谷可奈[1]、 大橋彩香[1]、ナーデル・シクラウィ[3]、ガビィ・マアマリ[4]、 ハッサン・バダウィ[5] (1奈良大学、2奈良大学レバノン遺跡保存修復プロジェクト、 3レバノン考古総局、4レバノン・バラマンダ大学、5レバノン大学)
A-11 **飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）を用いた土器による古食性復元** ○宮田佳樹[1]、斎藤香織[2]、堀内晶子[3]、南 雅代[1]、上條信彦[4]、福島和彦[2]、 中村俊夫[1] (1名古屋大学年代測定総合研究センター、2名古屋大学生命農学研究科、 3国際基督教大学教養学部、4弘前大学人文学部)	**B-11** **高松塚古墳壁画の生物劣化原因調査結果概要について** ○木川りか[1]、佐野千絵[1]、杉山純多[2]、高鳥浩介[3]、石崎武志[1] (1東京文化財研究所、2㈱テクノスルガ・ラボ千葉分室、 3NPO法人カビ相談センター)

休憩　　14：24～14：29

14：29～15：41 古環境	14：29～15：59 産地①
高妻洋成(奈良文化財研究所)　小林幸雄(北海道開拓記念館)	早川泰弘(東京文化財研究所)　西藤清秀(橿原考古学研究所)
A-12 **プラント・オパール中の炭素による生産遺構の年代決定方法に関する研究（Ⅰ）—プラント・オパール抽出方法および必要な土壌重量について—** ○宇田津徹朗[1]、中村俊夫[2]、田崎博之[3]、外山秀一[4]、杉山真二[5]、松田隆二[5] (1宮崎大学、2名古屋大学、3愛媛大学、4皇學館大学、5古環境研究所)	B-12 **蛍光X線分析法による初期弥生土器の胎土分析—弥生文化を伝えた集団の出自—** ○杉山浩平[1]、池谷信之[2]、谷口 肇[3] (1東京大学農学部、2沼津市文化財センター、3神奈川県教育委員会)
A-13 **遺跡における時空的植生復原—佐賀東名貝塚における植物遺体分析—** ○金原正明　(奈良教育大学)	B-13 **蛍光X線分析によるエジプト出土イスラーム陶器の産地特性化** ○権代紘志[1]、加藤慎啓[1]、中井 泉[1]、真道洋子[2] (1東京理科大学理学部、2イスラーム考古学研究所)
A-14 **九州南部における先史時代の植物利用—指宿市西多羅ヶ迫遺跡および水迫遺跡から出土した石器の残存デンプン分析—** ○渋谷綾子　(広島大学総合博物館・国立民族学博物館)	B-14 **重鉱物分析によるカマン地域にみられる前期青銅器時代の土器の原料産地の解明** ○黄 嵩凱[1]、横山一己[2]、中井 泉[1] (1東京理科大学、2国立科学博物館)
A-15 **北海道伊達市ポンマ遺跡から復元された17世紀の古環境** ○添田雄二[1]、山田悟郎[1]、渡邊 剛[2]、早田 勉[3]、池田陽香[4]、鈴木明彦[4]、都郷義寛[4]、青野友哉[5]、菅野修広[6]、赤松守雄[7] (1北海道開拓記念館、2北海道大学理学研究院、3火山灰考古学研究所、4北海道教育大学札幌校、5伊達市噴火湾文化研究所、6登別市教育委員会、7元北海道開拓記念館)	B-15 **現生の漆の産地識別** ○佐藤正教[1,2]、吉田邦夫[2]、中井俊一[3]、宮腰哲雄[4] (1日本大学大学院総合基礎科学、2東京大学総合研究博物館、3東京大学地震研、4明治大学理工学部)
	B-16 **鹿児島県北部における新黒曜石原産地の発見と意義** **—いわゆる「霧島山産」黒曜石の解明にむけて—** ○長井雅史[1]、中村守男[2]、岸田裕一[3]、柴田 徹[4]、金成太郎[4]、弦巻賢介[5]、杉原重夫[6] (1防災科学技術研究所、2伊佐市教育委員会、3中津市教育委員会、4明治大学文化財研究施設、5明治大学院・地理、6明治大学地理学研究室)

休憩　　15：41～15：46

休憩　　15：59～16：22



Japan Society for Scientific Studies on Cultural Property
The 27th Annual Congress Held Between 26th -27th of June 2010
at Kansai University

الجمعية اليابانية للدراسات العلمية حول التراث الثقافي
المؤتمر السنوي السابع والعشرون المنعقد ما بين السادس والعشرين والسابع والعشرين
من شهر يوليو 2010
جامعة كانساي. اليابان

15：46～17：34
材質・技法①

松井敏也(筑波大学)　　植田直見(元興寺文化財研究所)

A-16
古代中近東地域におけるコバルト着色剤の変遷
○阿部善也[1]、菊川 匡[1,2]、張本路丹[1]、タンタラカーン・クリアンカモル[1]、中井 泉[1]
(1東京理科大学、2古代エジプト美術館)

A-17
古代エジプトの銅・青銅製品の分析
○菊川 匡[1]、橋本英将[2]、大城道則[3]
(1古代エジプト美術館、2元興寺文化財研究所、3駒澤大学文学部)

A-18
染織文化財に用いられた染料の超微量分析の試み (4)ESIイオン化質量分析による非アゾ系初期合成染料の分析
○佐々木良子、佐々木健　(京都工芸繊維大学)

A-19
膠のコラーゲンのMALDI質量分析による動物種の同定
○宮路淳子[1]、中沢 隆[1]、松尾良樹[1]、高田将志[1]、鈴木孝仁[1]、舘野和己[1]、山崎雄三[2]、河原一樹[3]
(1奈良女子大学、2島津製作所応用技術部、3大阪大学大学院薬学研究科)

A-20
中世の金精錬技術に関する科学調査について―長野県川上村梓久保金山遺跡を中心に―
○沓名貴彦[1]、長﨑 治[2]、村上 隆[3]
(1山梨県立博物館、2川上村教育委員会、3京都国立博物館)

A-21
唐代兵役文書紙質分析が明かす東伝製紙術と西伝製紙術の違いの起源
○江南和幸[1]、坂本昭二[1]、岡田至弘[1]、大木 彰[2]、増田勝彦[3]
(1龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター、2龍谷大学図書館、3昭和女子大学)

16：22～17：16
産地②

降幡順子(奈良文化財研究所)　　魚島純一(徳島県立博物館)

B-18
弥生時代から古墳時代における島根県内の遺跡から出土した朱の産地同定
○南 武志[1]、岩橋孝典[2]、大庭俊次[2]、伊藤 智[2]、柴崎晶子[2]、坂本豊治[3]、渡辺貞幸[4]
(1近畿大学理工学部、2島根県埋蔵文化財調査センター、3出雲市文化財課、4出雲弥生の森博物館・島根大学名誉教授)

B-19
土器中軽石の起源推定―千葉県長平台遺跡と鹿児島県橋牟礼川遺跡の場合―
管野稔洋[1]、嶋田有里奈[1]、○福岡孝昭[1]、藤根 久[2]
(1立正大学地球環境科学部 、2㈱パレオ・ラボ)

B-20
白滝黒曜石の化学組成と微細組織―原産地推定のための岩石基礎資料の確立―
○和田恵治、佐野恭平　(北海道教育大学旭川校)

【　日本文化財探査学会総会（第２会議室）　　17：00～18：00　】

機器展示解説(展示ロビー)　　17：35～18：15

懇親会(ホール2)　　18：15～20：15

第二日目　6月27日（日）

受付　9：00～9：30

第一会場（ホール1）	第二会場（第一特別会議室）
9：30～11：00 **材質・技法②** 比佐陽一郎(福岡市教育委員会)　橋本英将（元興寺文化財研究所）	**9：30～11：00** **年代測定①** 建石 徹(文化庁美術学芸課)　渡辺智恵美(別府大学)
A-22 **形態観察と高解像度X線CT画像解析による出土おにぎりの検討** ○佐々木由香[1]、バンダリ・スダルシャン[1]、米田恭子[1]、村田健太郎[2]、小石川篤[2]、西田治文[3]、古屋紀之[4] (1株式会社パレオ・ラボ、2株式会社マイクロスコーピックスキャン、3中央大学理工学部、4(財)横浜市ふるさと歴史財団埋蔵文化財センター)	**B-21** **東海地方における縄文時代草創期から早期の炭素14年代測定** ○遠部 慎[1]、宮田佳樹[2]、小林謙一[3] (1北海道大学埋蔵文化財調査室、2名古屋大学年代測定センター、3中央大学)
A-23 **FTIRを用いた天然樹脂･乳香と薫陸の判別** ○中村力也、成瀬正和　(宮内庁正倉院事務所)	**B-22** **年代決定精度±1年レベルでの炭素１４ウイグルマッチ法について** ○今村峯雄[1]、パレオラボAMS測定グループ[2] (1元国立歴史民俗博物館、2(株)パレオ・ラボ)
A-24 **東南アジアの伝統的土器つくりにおけるチュア（シャモット）の役割** ○小林正史[1]、鐘ヶ江賢二[2]、棟上俊二[3]、上原誠一郎[4] (1北陸学院大学、2鹿児島国際大学、3福岡教育大学、4九州大学理学部)	**B-23** **炭素14年代測定法を用いた古筆切の伝承筆者と書写年代の相違に関する研究―伝中臣鎌足筆，伝宗尊親王筆古筆切等を例として―** ○小田寛貴[1]、池田和臣[2]、安 裕明[3] (1名古屋大学年代測定総合研究センター、2中央大学文学部、3茨城県立多賀高等学校)
A-25 **エジプト出土古代ファイアンスの考古化学的研究と製作技法に関する考察** ○張本路丹[1]、阿部善也[1]、中井 泉[1]、西坂朗子[2]、河合 望[3]、吉村作治[2] (1東京理科大学、2サイバー大学、3早稲田大学)	**B-24** **秋田県森吉家ノ前A遺跡の木質遺物を用いたスギ標準年輪曲線の構築と年輪年代学的解析から推定される遺構間の年代関係** ○星野安治[1･2]、大山幹成[1]、米延仁志[3] (1東北大学学術資源研究公開センター植物園、2日本学術振興会特別研究員PD、3鳴門教育大学大学院学校教育研究科)
A-26 **桃山文化期における輸入漆の調達と使用に関する調査** ○北野信彦[1]、竜子正彦[2]、川口洋平[3]、川村紀子[4]、本多貴之[5]、宮腰哲雄[5] (1東京文化財研究所、2京都市埋蔵文化財研究所、3長崎県教育庁学芸文化課、4大阪市文化財協会、5明治大学理工学部)	**B-25** **AMS14C年代測定及びウイグルマッチングを用いた石川県真脇遺跡出土環状木柱列の高精度編年研究** ○西本 寛[1]、高田秀樹[2]、木村勝彦[3]、中村俊夫[4] (1名古屋大学大学院環境学研究科、2能登町教育委員会、3福島大学共生システム理工学類、4名古屋大学年代測定総合研究センター)

休憩　11：00～11：10

総会　(第一会場　ホール１)　11：10－12：10

昼休憩　12：10～13：30

【　ポスター解説　12：30～13：30　**】**

特別セッション『海外の文化財の調査・保存と現状』　　13：30～15：00
（第一会場　ホール１）

休憩　　15：00～15：10

15：10～15：46
材質・技法③

北野信彦(東京文化財研究所)　　川本耕三(元興寺文化財研究所)

A-27
韓半島出土縦長板甲付着有機物の同定
○林 志暎[1]、李 賢珠[2]、李 瑜眞[1]
（1元釜山大学校博物館特別研究員、2釜山市立福泉博物館）

A-28
ローマおよびイスラーム時代のガラスに彩画されたエナメル顔料の考古化学的研究
○鈴木周作、加藤慎啓、中井 泉　(東京理科大学)

休憩　　15：46～15：51

15：51～17：03
特別セッション　探査

和田晴吾(立命館大学)　　今津節生(九州国立博物館)

A-29
大阪府枚方市禁野車塚古墳の物理探査
○亀井宏行[1]、菱田哲郎[2]、一瀬和夫[3]、米田文孝[4]、西田敏秀[5]
(1東京工業大学、2京都府立大学、3京都橘大学、4関西大学、
5枚方市文化財研究調査会)

A-30
日光輪王寺における文化財建造物の超音波探査
○足立和成　(山形大学大学院理工学研究科)

A-31
古墳や窯跡調査に適用した物理探査の手法
○西谷忠師　(秋田大学)

A-32
土壌・岩石の磁性分析による被熱遺構探査―その原理と実際―
○森永速男　(兵庫県立大学大学院地球テクトニクス研究室)

15：10～16：04
年代測定②

中村晋也(金沢学院大学)　　奥山誠義(橿原考古学研究所)

B-26
熱ルミネッセンス法による黄冶窯跡出土陶片の年代測定
○青木智史[1]、出川哲朗[2]、長友恒人[1]
(1奈良教育大学、2大阪市立東洋陶磁美術館)

B-27
日本年輪年代学研究史話―アリゾナ大学年輪研究所に保管されている故渡辺直経氏収集の木曽ヒノキ資料をめぐって―
○大河内隆之
(独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所埋蔵文化財センター)

B-28
較正解析プログラムOxCalの日本語化について
○大森貴之[1]、西本 寛[1]、中村俊夫[2]
(1名古屋大学環境学研究科、2名古屋大学年代測定総合研究センター)

休憩　　16：04～16：09

16：09～17：03
年代測定③

小田寛貴(名古屋大学)　　山田哲也(元興寺文化財研究所)

B-29
重要文化財三木家住宅の放射性炭素年代調査について
○中尾七重[1]、坂本 稔[2]、今村峯雄[2]
(1武蔵大学総合研究所、2国立歴史民俗博物館)

B-30
限外ろ過調製法は化石骨の14C年代測定において有効か
山崎香奈[1]、○南 雅代[2]、大森貴之[3]、中村俊夫[2]
(1名古屋大学理学部、2名古屋大学年代測定総合研究センター、
3名古屋大学大学院環境学研究科)

B-31
クッキー状炭化物の由来解明とその年代
○國木田大、吉田邦夫　(東京大学)

閉会挨拶(ホール1)　　17：10～17：15

ポスター発表

ポスター解説：　奇数番号は、26日（土）12:30～13:30
偶数番号は、27日（日）12:30～13:30

文化財科学一般　【第3会議室】

P-001　地中レーダー探査によるエジプト・マスタバ墓地下埋葬室母岩の劣化調査
○伊藤淳志[1]、西形達明[1]、吹田 浩[1]、田村晃一[2]　（1関西大学、2応用地質株式会社）

P-002　ステレオカメラを用いた密集仏像群の形状計測手法に関する研究
○運天弘樹[1]、巽 英之[1]、増田智仁[1]、猪瀬健二[1]、安藤 真[1]、森井順之[2]、久世めぐみ[2]
（1凸版印刷、2東京文化財研究所）

P-003　超高精細画像処理による混一疆理歴代国都之図の科学分析
○坂本昭二、芝 公仁、若間俊旭、岡田至弘　（龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター）

P-004　地理情報システムによる平安京の3D景観シミュレーション
○河角龍典[1]、川崎由依[2]　（1立命館大学、2立命館大学・卒業生）

P-005　弥生時代の遺跡から出土したイネ種子のDNA分析
○花森功仁子[1,2]、石川智士[1]、齋藤 寛[1]、岡田喜裕[1]、佐藤洋一郎[3]
（1東海大学大学院、2株式会社ジェネテック、3総合地球環境学研究所）

P-006　３次元デジタルアーカイブデータによるカンボジア・バイヨン寺院尊顔の制作背景調査
○鎌倉真音[1]、大石岳史[1]、高松 淳[2]、池内克史[1]　（1東京大学大学院、2奈良先端科学技術大学院大学）

P-007　エジプト・アラブ共和国アブ・シール南丘陵遺跡におけるGPR探査
○岸田 徹[1]、津村宏臣[1]、渡邊俊祐[1]、河合 望[2]、吉村作治[3]　（1同志社大学、2早稲田大学、3サイバー大学）

P-008　火山灰でパックされた平安時代の村―鹿児島県指宿市敷領遺跡―鍛冶炉の発見
○亀井宏行[1]、今村太一[1]、浅川陽介[1]、宮﨑皓一[1]、指宿市教育委員会[2]　（1東京工業大学、2指宿市教育委員会）

P-009　エジプト、アル・ザヤーン神殿の地中レーダ探査（前面部、内部通路、至聖所）
古川 桂[1]、○亀井宏行[1]、阿児雄之[1]、中野智章[2]　（1東京工業大学、2中部大学）

P-010　製塩土器は化学分析で同定できる
堀内晶子[1]、○宮田佳樹[2]、黒住仁美[1]　（1国際基督教大学教養学部、2名古屋大学年代測定総合研究センター）

P-011　細川家船屋形保存展示ケースの温湿度環境改修結果　第２報
○宮野秋彦[1]、福西大輔[2]、米村 均[2]　（1名古屋工業大学、2熊本市熊本博物館）

P-012　調湿建材内蔵型展示ケースの湿度調整機能について　（第１報）
○宮野則彦[1]、御厨秀俊[2]、宮野秋彦[3]　（1日本大学、2AM工房、3名古屋工業大学）

P-013　復元青銅器の破砕実験
○魚島純一[1]、小泉武寛[2]、難波洋三[3]、植地岳彦[4]
（1徳島県立博物館、2鋳造家、3奈良文化財研究所、4㈶徳島県埋蔵文化財センター）

P-014　建物の歴史を電磁波でみる―水戸市台渡里遺跡長者山地区VII地点の探査―
川口武彦[1]、○金田明大[2]、西村 康[2]、西口和彦[2]、三井 猛[3]、木本挙周[4]
（1水戸市教育委員会、2独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所、3㈲三井考測、4牛久市教育委員会）

P-015　SVGによる遺構・遺物の記録と活用への基礎的検討
○金田明大[1]、清野陽一[2]　（1独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所、2京都大学大学院）

P-016　低コスト三次元レーザースキャナーの利用と実践

○金田明大[1]、木本挙周[2]、川口武彦[3]、三井 猛[4]

（1独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所、2牛久市教育委員会、3水戸市教育委員会、4㈲三井考測）

P-017　平城宮跡東方官衙地区におけるGPR探査

○金田明大、国武貞克、西口和彦、西村 康　（奈良文化財研究所）

P-018　超高感度・大面積ガンマ線イメージセンサーの開発と移動が困難な文化財の調査

○犬塚将英[1]、房安貴弘[2]、越牟田聡[3]、田中義人[2]、浜垣秀樹[4]

（1東京文化財研究所、2長崎総合科学大学、3サイエナジー株式会社、4東京大学）

P-019　国宝・辛亥銘（稲荷山）鉄剣のX線CT調査

○今津節生[1]、鳥越俊行[1]、輪田 慧[1]、野中 仁[2]　（1九州国立博物館、2埼玉県教育庁）

P-020　古文書分類への情報学的アプローチ―大谷コレクション「李柏文書」を例として―

○坂本昭二[1]、倉石沙織[1]、江南和幸[1]、岡田至弘[1]、河野益近[2]

（1龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター、2京都大学大学院工学研究科）

P-021　エジプト西方砂漠（オアシス）地域における環境調査―発掘遺構の気象変動について―

○山田卓司[1]、塚本敏夫[1]、亀井宏行[2]　（1元興寺文化財研究所、2東京工業大学）

P-022　伽藍石仏における現況調査―赤外線サーモグラフィを用いた事前調査結果について―

○山路康弘[1]、伊藤広宣[2]、山村健生[2]　（1大分市立滝尾中学校、2株式会社文化財保存活用研究所）

P-023　民具の使用痕分析と残存デンプン分析

○上條信彦　（弘前大学）

P-024　文化財用X線CTによる遺跡出土馬歯の計測

○植月 学[1]、鳥越俊行[2]　（1山梨県立博物館、2九州国立博物館）

P-025　パノラマ･マルチスペクトルカメラを用いた古墳壁画の文様検出

○森本哲郎[1]、朽津信明[2]、池内克史[3]　（1凸版印刷株式会社、2東京文化財研究所、3東京大学生産技術研究所）

P-026　土器表面微細痕跡の分析―土器製作者の身体技法の考察へ向けて―

○川宿田好見、中園 聡、稲垣友裕　（鹿児島国際大学）

P-027　実測図と三次元形状計測の比較―考古学的遺物の記録・表現法の検討―

○川宿田好見、中園 聡、黒木梨絵、平川ひろみ、泉さやか、新屋敷久美子、高原裕介、江神めぐみ、中村有希

（鹿児島国際大学）

P-028　地形変化と縄文集落の展開―斜里平野とその周辺の事例―

○村本周三　（総合研究大学院大学文化科学研究科）

P-029　今城塚古墳の地盤考古学的考察

○中山義久[1]、西田一彦[1]、西形達明[2]、宮崎康雄[3]、辻本裕也[4]、岡崎宣治[5]

（1協同組合関西地盤環境研究センター、2関西大学環境都市工学部、3高槻市教育委員会、
4パリノ・サーヴェイ株式会社大阪支店、5株式会社関西地質調査事務所）

P-030　ハンディ３Ｄデジタイザによる現場での活用

○鳥越俊行、今津節生、輪田 慧　（九州国立博物館）

P-031　オマーン・ラス・ジプス貝塚（第3地点）の磁気探査

○津村宏臣[1]、福原啓介[2]、渡邊俊祐[2]、樋泉岳二[3]、植月 学[4]

（1同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター、2同志社大学文化情報学研究科、3早稲田大学人間科学部、
4山梨県立博物館）

P-032　オマーン・ラス・ジプス貝塚（第3地点）の詳細測量調査と微地形解析

○津村宏臣[1]、渡邊俊祐[2]、福原啓介[2]

（1同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター、2同志社大学文化情報学研究科）

P-033　敦煌莫高窟285窟に関する３D-GIS技術を基準としたデータベース構築

○津村宏臣[1]、岡田 健[2]、高林弘実[2]、青池暁子[3]、鎌倉快之[4]、蘇 伯民[5]、王 小偉[5]

（1同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター、2東京文化財研究所、3同志社大学文化情報学部、4大阪工業大学、5敦煌研究院）

P-034　終末期古墳の漆喰を対象とした基礎的研究―カヅマヤマ古墳漆喰の構造変化―

○鶴 真美[1]、金原正明[1]、西光慎治[2]　（1奈良教育大学、2明日香村教育委員会）

P-035　水銀および鉛系顔料のX線分析

濱田 祐、○藤原 学　（龍谷大学）

P-036　焼結体および岩石表面に塗布されたカルシウム系顔料の科学分析

○福田堅一、藤原 学　（龍谷大学）

P-037　日本産爬虫類・鳥類の骨格同定法と体長復元―ウミガメ科とカモ科を中心として―

○富岡直人、浜岡香明、立石和也、竹並千穂、古賀日香理、真子未来　（岡山理科大学）

P-038　博物館展示におけるディジタルデータの活用

○輪田 慧、今津節生、鳥越俊行、河野一隆　（九州国立博物館）

P-039　バイヨン内回廊バ・レリーフの保存研究における着生物のスペクトル解析

○千葉麻由子[1]、森本哲郎[2]、片山葉子[3]、池内克史[4]

（1早稲田大学大学院創造理工学研究科、2凸版印刷株式会社、3東京農工大学共生科学技術研究院、4東京大学大学院情報学環）

産地　【第3会議室】

P-040　中国広西省出土古代ガラスとヒスイ製品のその場分析による考古化学的研究

○タンタラカーン・クリアンカモル[1]、張本路丹[1]、李 青会[1]、中井 泉[1]、熊 昭明[2]、谢 日万[2]

（1東京理科大学理学部応用化学科、2広西省文物考古研究所）

P-041　インド出土のガラスに関する原料の産地推定

○魯 禔玹[1]、平尾良光[1]、安田喜憲[2]　（1別府大学大学院文学研究科、2国際日本文化研究センター）

P-042　熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析による出土琥珀の産地推定について（2）

○植田直見[1]、渡邊緩子[2]　（1㈶元興寺文化財研究所、2住友金属テクノロジー株式会社）

P-043　北陸・中部地方を原産地とする黒曜石の定量・定性分析―黒曜石製遺物の原産地推定に関わる研究―

○杉原重夫[1]、金成太郎[2]、長井雅史[3]、柴田 徹[2]

（1明治大学地理学研究室、2明治大学文化財研究施設、3防災科学技術研究所）

P-044　土器製作者個人の高確度同定法の開発―製作工具痕の同定を中心として―

○中園 聡、川宿田好見、黒木梨絵、平川ひろみ　（鹿児島国際大学）

P-045　鳥取県伯耆町井後草里遺跡出土土器の蛍光Ｘ線分析

松本直子[1]、○黒木梨絵[2]、長田康平[3]、泉さやか[2]、高原裕介[2]、中園 聡[2]

（1岡山大学、2鹿児島国際大学、3伯耆町教育委員会）

P-046　土器製作者個人の高確度同定法開発のための復元土器の多角的検討

○平川ひろみ、重信美那子、中園 聡、川宿田好見、黒木梨絵、泉さやか、新屋敷久美子、太郎良真妃、稲垣友裕

（鹿児島国際大学）

P-047　岡山県岡山市犬島貝塚における石器石材の研究―蛍光X線分析による―

○大智淳宏、白石 純、富岡直人　（岡山理科大学）

P-048　携帯型蛍光X線分析装置および帯磁率計を用いたメソポタミア出土粘土板の非破壊分析

○内田悦生[1]、佐々木利基[1]、渡辺千香子[2]　（1早稲田大学理工学術院、2大阪学院大学国際学部）

P-049　長崎県南島原市の原城跡から出土した豆板銀の文化財科学的調査

○西田京平[1]、山口将史[1]、平尾良光[1]、松本慎二[2]　（1別府大学大学院、2南島原市教育委員会）

P-050　徳島県阿波市土成丸山古墳出土埴輪の胎土分析

○白石 純[1]、林 泰治[2]　（1岡山理科大学自然科学研究所、2阿波市教育委員会）

P-051　熊本県の古墳から出土したガラスビーズの考古化学的研究

○白瀧絢子[1]、阿部善也[1]、タンタラカーン・クリアンカモル[1]、中井 泉[1]、池田朋生[2]、坂口圭太郎[2]、後藤克博[3]
（1東京理科大学、2熊本県立装飾古墳館、3熊本県教育庁）

P-052　Kaman Kalehöyük出土の鉄器時代・暗黒時代の土器の産地推定

○鈴木裕子、黄 嵩凱、中井 泉　（東京理科大学理学部）

P-053　EPMAによる黒曜石石器の原産地推定―北海道・上士別遺跡の例―

○和田恵治[1]、向井正幸[2]、佐野恭平[1]、水田一彦[3]　（1北海道教育大学旭川校、2旭川市博物科学館、3士別市立博物館）

P-054　石器・玉類の原材産地分析（２６）

○藁科哲男[1]、丹羽佑一[2]、中村大介[3]、金 奎虎[4]　（1遺物材料研究所、2香川大学、3明治大学古代学研究所、4公州大学校）

P-055　奈良県内の古墳出土埴輪の胎土研究

○三辻利一、犬木 努、犬木麻美　（大阪大谷大学）

P-056　埴輪の胎土研究の視点

○三辻利一、犬木 努、犬木麻美　（大阪大谷大学）

P-057　蛍光X線分析値に見る小豆島・讃岐産サヌキトイドの化学組成

○髙橋 豊　（富士常葉大学環境防災研究所）

P-058　二上山産(株山・石マクリ)サヌキトイドの化学組成

○髙橋 豊[1]、佐藤良二[2]　（１富士常葉大学環境防災研究所、2香芝市二上山博物館）

年代測定　【第3会議室】

P-059　群馬県二宮赤城神社石造宝塔の炭素14年代測定

○坂本 稔[1]、朽津信明[2]、本多貴之[3]、前原 豊[4]
（1国立歴史民俗博物館、2東京文化財研究所、3明治大学理工学部、4前橋市教育委員会）

P-060　AMS 14C測定実験室間の比較研究―名古屋大学と原子力機構むつ―

○中村俊夫[1]、田中孝幸[2]、甲 昭二[2]、太田友子[1]
（1名古屋大学年代測定総合研究センター、2日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事業所）

P-061　日本産ツガ属の年輪年代測定（その３）―現生材による基準パターンの作成と既存データの再検討―

○藤井裕之[1]、光谷拓実[2]　（1奈良文化財研究所、2総合地球環境学研究所）

P-062　ロシア・アムール流域における過去一万年間の文化編年

○國木田大[1]、吉田邦夫[1]、I. Shevkomud[2]、大貫静夫[1]、佐藤宏之[1]、熊木俊朗[1]、福田正宏[3]、内田和典[4]、森先一貴[5]、
A. Konopatskii[6]
（1東京大学、2極東国立博物館、3東北芸術工科大学、4首都大学東京、5奈良文化財研究所、
6ノボシビルスク上級軍事指揮官研究所）

P-063　炭素14年代測定法による縄文早期三引遺跡の存続期間に関する一試行

○山本直人、水野 蛍　（名古屋大学文学研究科）

保存科学　【第5会議室】

P-064　糖アルコール含浸法からの新たな展開―トレハロースを主剤とする出土木材保存法へ―

○伊藤幸司[1]、藤田浩明[1]、今津節生[2]

（1財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所、2独立行政法人国立文化財機構九州国立博物館）

P-065　着生地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用した文化遺産の強化方法の研究 I
―着生生物と基物との界面の微細構造解析―

○河崎衣美[1]、松井敏也[2]、山本好和[3]　（1筑波大学・日本学術振興会特別研究員DC、2筑波大学、3秋田県立大学）

P-066　観察手法による高松塚古墳壁画表面の調査結果報告

○吉田直人[1]、高妻洋成[2]、降幡順子[2]、辻本与志一[2]、間渕 創[1]、早川泰弘[1]、佐野千絵[1]、三浦定俊[1]、肥塚隆保[2]

（1独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所、2独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所）

P-067　高松塚古墳壁画の材料調査―蛍光X 線分析法による下地漆喰に関する調査（2）―

○降幡順子[1]、早川泰弘[2]、吉田直人[2]、高妻洋成[1]、辻本与志一[1]、脇谷草一郎[1]、佐野千絵[2]、三浦定俊[2]、宇田川滋正[3]、建石 徹[3]、肥塚隆保[1]　（1奈良文化財研究所、2 東京文化財研究所、3文化庁）

P-068　国宝高松塚古墳壁画の材料調査―目地漆喰および下地漆喰―

○肥塚隆保[1]、高妻洋成[1]、降幡順子[1]、金原正明[4]、佐野千絵[2]、早川泰弘[2]、吉田直人[2]、三浦定俊[2]、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、4奈良教育大学）

P-069　木造文化財における彩色の劣化機構に対する電磁波の応用

○金 旻貞[1]、藤原裕子[2]、藤井義久[2]、福永 香[3]、高妻洋成[4]

（1京都大学大学院、2京都大学、3情報通信研究機構、4奈良文化財研究所）

P-070　漆喰材料の水分特性の比較研究

○林美木子、佐野千絵、石崎武志　（独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所）

P-071　高松塚古墳石室内より分離された主要な微生物のギ酸・酢酸生成能

○佐野千絵[1]、西島美由紀[2]、喜友名朝彦[2]、木川りか[1]、杉山純多[3]

（1東京文化財研究所、2㈱テクノスルガ・ラボNCIMBグループ、3㈱テクノスルガ・ラボ千葉分室）

P-072　出土鉄製品の脱塩処理の効率化について－2－

○山村健生[1]、渡辺智恵美[2]　（1別府大学大学院、2別府大学）

P-073　発掘直後の古墳壁画保存のための石室保護材料の設置方法の検討

李 永輝[1]、○小椋大輔[1]、鉾井修一[1]、石崎武志[2]　（1京都大学大学院、2東京文化財研究所）

P-074　闘鶏山古墳の石槨内部発掘調査に伴う石槨周辺の温湿度制御方法の検討

木村奈津子[1]、○小椋大輔[1]、鉾井修一[1]、高橋公一[2]　（1京都大学大学院、2高槻市教育委員会）

P-075　中国麦積山石窟における修復材料の暴露試験と窟内部の強化試験

○松井敏也[1]、末森 薫[2]、花 平寧[3]、魏 文斌[3]、馬 千[3]、董 広強[3]、岳 永強[3]、八木春生[1]、沢田正昭[4]

（1筑波大学、2東京文化財研究所、3麦積山石窟芸術研究所、4国士舘大学）

P-076　動的解析による高松塚古墳の損傷要因の検討

三村 衞[1]、長屋淳一[2]、○石崎武志[3]　（1京都大学、2地域地盤環境研究所、3東京文化財研究所）

P-077　積雪寒冷地における歴史的建造物の壁面劣化調査

高見雅三[1]、○石崎武志[2]　（1道総研(旧北海道立地質研究所)、2東京文化財研究所）

P-078　エジプト西方砂漠ハルガオアシス、アル・ザヤーン神殿遺跡の保存環境調査

○塚本敏夫[1]、山田卓司[1]、中村俊夫[2]、亀井宏行[3]　（1財団法人元興寺文化財研究所、2名古屋大学、3東京工業大学）

P-079　民俗資料の劣化とその対処法に関する研究（1）―木部への塩分浸透実験と金属防錆処理法の検証実験―

○日高真吾[1]、川本耕三[2]、石井里佳[2]、河村友佳子[2]、橋本沙知[2]、和高智美[3]
（1国立民族学博物館、2元興寺文化財研究所、3和高巧芸）

P-080　キトラ古墳の新たな微生物対策：紫外線照射について

○木川りか[1]、佐野千絵[1]、高鳥浩介[2]、久米田裕子[3]、杉山純多[4]、森井順之[1]、早川典子[1]、川野邊渉[1]、石崎武志[1]、
宇田川滋正[5]、建石 徹[5]
（1東京文化財研究所、2NPO法人カビ相談センター、3大阪府立公衆衛生研究所、4㈱テクノスルガ・ラボ 千葉分室、
5文化庁）

P-081　寒冷地における漆喰壁土蔵の劣化機構と保存対策（7）―左官材料の物性―

○鈴木雄太[1]、米村祥央[2]、手代木美穂[3]
（1元東北芸術工科大学、2東北芸術工科大学、3元東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター）

P-082　遺跡保存を目的とした水の挙動に関する解析―日田市ガランドヤ古墳における調査事例―

○脇谷草一郎[1]、矢羽田幸宏[2]、高妻洋成[1]、肥塚隆保[1]　（1奈良文化財研究所、2日田市教育委員会）

古環境　【ロビー】

P-083　昆虫化石からみた愛知県畑間遺跡の古環境

○奥野絵美[1]、森 勇一[2]　（1愛知県埋蔵文化財センター、2金城学院大学）

P-084　佐賀東名貝塚における時空的植生復原

金原正明[1]、○金原美奈子[2]　（1奈良教育大学、2古環境研究所）

P-085　電子顕微鏡観察によるアンズ核の加工処理法と毒抜き効果の考察
―中国初期稲作文化期の野生植物利用復元の一環として―

○細谷 葵[1]、Michele Wollstonecroft[2]、Dorian Fuller[2]、秦 嶺[3]
（1総合地球環境学研究所、2ロンドン大学 University College London 考古学研究所、3北京大学考古文博学院）

P-086　古代土木工法の敷葉工法に関連する樹種選択性の解明

○山口誠治　（大阪府文化財センター）

P-087　指宿市西多羅ヶ迫遺跡から出土した後期旧石器時代前半期の石器の分析
―残存デンプン分析と使用痕分析の成果を中心に―

○渋谷綾子[1]、鎌田洋昭[2]、寒川朋枝[3]
（1広島大学総合博物館・国立民族学博物館、2指宿市考古博物館、3鹿児島大学埋蔵文化財調査室）

P-088　青森県前川遺跡における古代水田跡ならびに弥生時代中期水田跡の調査
―プラント・オパール定量分析・プラント・オパール形状解析による成果―

○松田隆二[1]、宇田津徹朗[2]、笹森一朗[3]、斉藤慶史[4]
（1古環境研究所、2宮崎大学、3青森県埋蔵文化財調査センター、4青森県教育庁文化財保護課）

P-089　鹿児島県南種町広田遺跡における縄文時代後期以後の海岸地形発達過程

○松田順一郎　（史跡鴻池新田会所管理事務所）

P-090　根室市温根沼貝塚出土資料からみた縄文前期北海道東部の環境

○新美倫子[1]、猪熊樹人[2]　（1名古屋大学博物館、2根室市歴史と自然の資料館）

P-091　エジプト・アブシール南丘陵遺跡の測量と人工地形の析出・評価

○津村宏臣[1]、渡邊俊祐[2]、岸田 徹[3]
（1同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター、2同志社大学文化情報学研究科、3同志社大学文化情報学部）

P-092　弥生時代後期の包含層の土壌微細学的特徴とその形成過程―大阪府四条畷市の雁屋遺跡での分析事例―
○辻 康男、山川真樹　（パリノ・サーヴェイ㈱）

P-093　大阪平野とその周辺地域における中世以降の植生の変容過程
○辻本裕也　（パリノ・サーヴェイ株式会社大阪支店）

P-094　オマーン・ラス・ジプス貝塚の古環境復原
○樋泉岳二[1]、植月 学[2]、黒住耐二[3]、江口誠一[3]、津村宏臣[4]
（1早稲田大学比較考古学研究所、2山梨県立博物館、3千葉県立中央博物館、4同志社大学文化情報学部）

P-095　大分県九重町千町無田におけるイネ栽培の歴史
○谷口めぐみ、佐々木章、平尾良光　（別府大学文学部）

材質・技法　【第4会議室】

P-096　染織品に刺繍された金銀糸に用いられている漆の物性に関する一考察
―熱分解―ガスクロマトグラフィ／質量分析法による検討―
○吉田澪代[1]、宮腰哲雄[2]、 本多貴之[2]　（1名古屋大学物質科学国際研究センター、2明治大学）

P-097　板碑に見られる彩色について
○朽津信明　（東京文化財研究所）

P-098　古代エジプト美術館所蔵イビス像の製作技法―制作技法痕跡・元素同定からの検討―
○橋本英将[1]、菊川 匡[2]、大城道則[3]　（1㈶元興寺文化財研究所、2古代エジプト美術館、3駒澤大学）

P-099　東大寺山古墳の木質遺物の同定
金原正明[1]、○湯ノ口利恵[1]、金原 明[2]　（1奈良教育大学、2古環境研究所）

P-100　ヤッスホユック遺跡出土彩文土器の文様の考古化学的研究
○五月女祐亮、中井 泉　（東京理科大学理学部）

P-101　ガスクロマトグラフ-質量分析及び分光法によるエジプト壁画に用いられた顔料及び接着剤成分検出の検討
○浅井重博[1]、久富広隆[2]、川﨑英也[2]、アフメド・シュエイブ[3]、荒川隆一[2]
（1サーモフィッシャーサイエンティフィック、2関西大学化学生命工学部、3カイロ大学考古学部）

P-102　七宝亀甲型金具の材質・構造調査
○降幡順子[1]、加藤真二[1]、相原嘉之[2]　（1奈良文化財研究所、2明日香村教育委員会）

P-103　東南アジア大陸部の稲作農耕民の覆い型野焼きにおける焼成温度プロファイルの違いを生み出した要因
○小林正史　（北陸学院大学）

P-104　豊岡遺跡出土の漆塗膜とアスファルトの分析
○神谷嘉美[1]、八木勝枝[2]、宮腰哲雄[3]
（1地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター、2岩手県立博物館、3明治大学理工学部）

P-105　シンクロトロン放射光X線トモグラフィーを用いた神像、木彫像の樹種識別調査
○水野(田鶴)寿弥子、杉山淳司　（京都大学生存圏研究所）

P-106　千葉県富津市所在　九条塚古墳出土遺物の再検討―科学的調査を踏まえて―
○杉本和江[1]、川本耕三[2]、黒住耐二[3]、伊藤伸久[4]、小沢 洋[4]
（1古美術修理すぎもと、2㈶元興寺文化財研究所、3千葉県立中央博物館、4富津市教育委員会）

P-107　大阪府箕面市箕面経塚出土品についての検討
○清水梨代[1]、森井貞雄[2]、箕面市教育委員会[3]
（1（財）長野県埋蔵文化財センター、2大阪府教育委員会、3箕面市教育委員会）

P-108　大分県宇佐神宮で鎌倉期に用いられた神輿障子絵の顔料調査

○石川優生[1]、山田拓伸[2]、井上大樹[3]、平尾良光[1]　（1別府大学大学院、2大分県立歴史博物館、3文化庁）

P-109　文化財染料のHPLC分析による溶液分離成分の再分析の研究―FTIR法による染料同定の研究―

○赤田昌倫[1]、佐藤昌憲[2]、奥山誠義[3]、佐藤 萌[4]
（1京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリー、2奈良文化財研究所、3橿原考古学研究所、4京都工芸繊維大学大学院）

P-110　東大寺大仏殿所蔵品の材質と製作技法の調査研究

○川本耕三[1]、坂東俊彦[2]、杉本和江[3]　（1㈶元興寺文化財研究所、2東大寺史研究所、3古美術修理すぎもと）

P-111　国宝伴大納言絵巻の彩色材料調査

○早川泰弘[1]、城野誠治[1]、黒田泰三[2]　（1東京文化財研究所、2出光美術館）

P-112　熊本県下扇原遺跡出土ベンガラのキャラクタリゼーション―ベンガラ研究の新たな試みとして―

○村上 隆[1]、高田 潤[2]、辻 広美[2]、團野瑛章[2]、橋本英樹[2]、草野圭弘[3]、宮崎敬士[4]、菊地孝宏[5]
（1京都国立博物館、2岡山大学、3倉敷芸術科学大学、4熊本県教育庁文化課、5JFEケミカル）

P-113　ウズベキスタン共和国から出土した炭化繊物の科学的調査

○村上智見[1]、宇野隆夫[2]　（1奈良大学、2国際日本文化研究センター）

P-114　十八夜観世音堂菩薩立像に使用された木材の非破壊樹種調査

○大山幹成[1]、酒井昌一郎[2]、星野安治[3]、鈴木三男[1]
（1東北大学植物園、2仙台市博物館、3東北大学植物園・日本学術振興会特別研究員PD）

P-115　石器の剥離面3次元構造のデータ化と、3次元データ解析による使用・剥離痕の解析

○津村宏臣[1]、渡邊俊祐[2]　（1同志社大学文化情報学部、2同志社大学文化情報学研究科）

P-116　古代製鋼技術を利用した炒鋼開発

○鄭 光龍[1]、金 滿會[1]、朴 敏銖[1]、金 洋辰[2]　（1韓國傳統文化學校、2奈良大学大学院）

P-117　朝鮮時代の瓦の物理的特性の研究

○鄭 光龍[1]、賓 周景[1]、金 洋辰[2]　（1韓國傳統文化學校、2奈良大学大学院）

P-118　大韓民國忠南公州市唐巖理出土鉱滓の材料学的特性

○趙 南哲[1]、李 善永[2]、梁 慧珍[2]　（1公州大學校文化財保存科學科、2百濟文化財研究院）

P-119　紫色ガラスの分析科学的研究

○田村朋美[1]、江崎靖隆[2]、肥塚隆保[1]　（1奈良文化財研究所、2糸島市教育委員会）

P-120　SIMSを用いた黒曜石水和層中の水素イオン分析

○渡辺圭太[1]、鈴木正男[2]　（1東京工業大学、2立教大学）

P-121　Ｘ線ＣＴスキャン法を応用した耳環の調査(2)

○渡辺智恵美[1]、鳥越俊行[2]、輪田 慧[2]、塩浜浩之[3]　（1別府大学、2九州国立博物館、3上毛町教育委員会）

P-122　坩堝表面に残された金属成分の調査

○内山伸明、永濵功治、中村幸一郎、上床 真、園田ひとみ　（鹿児島県立埋蔵文化財センター）

P-123　アンコール・ワット十字回廊に見られる顔料の研究

○内田悦生、田久保豊、豊内謙太郎、渡辺美齢、宮田順一　（早稲田大学理工学術院）

P-124　博多遺跡群出土中世漆器にみる下地調整技法

○武田昭子[1]、田上勇一郎[2]、赤沼英男[3]、土谷信高[4]
（1昭和女子大学、2福岡市埋蔵文化財センター、3岩手県立博物館、4岩手大学）

P-125　蛍光X線分析法による古鉄中のAsとSbを定量するための問題点

○平井昭司[1]、植松宏紀[1]、江場宏美[1]、坂下明子[2]、磯部 健[2]　（1東京都市大学、2JFEテクノリサーチ）

P-126　群馬県前橋市二宮赤城神社に現存する石造宝塔の表面塗装の分析

○本多貴之[1]、朽津信明[2]、前原 豊[3]　(1明治大学理工学部、2東京文化財研究所、3前橋市教育委員会)

P-127　佐賀県小城市布施ヶ里遺跡出土銅釦の修復報告

○友廣美和[1]、渡辺智恵美[1]、古庄秀樹[2]　(1別府大学大学院、2小城市教育委員会)

P-128　殷周青銅器のＣＴスキャナ調査

○廣川 守[1]、今津節生[2]、鳥越俊行[2]、輪田 慧[2]　(1泉屋博古館、2九州国立博物館)

P-129　刀剣の素材加工工程における温度と物性に関する研究

○齋藤 努、高塚秀治　(国立歴史民俗博物館)

P-130　X線CTスキャン装置による塼仏の調査

○米田文孝[1]、今津節生[2]、鳥越俊行[2]、市元 塁[2]、西光慎治[3]
(1関西大学、2九州国立博物館、3奈良県明日香村教育委員会)

P-131　Spring-8で視る木屎漆の植物素材

○杉山淳司[1]、高瀬克彦[1]、八木直人[2]、藤本青一[3]
(1京都大学生存圏研究所、2㈶高輝度光科学研究センター、3㈶美術院国宝修理所)

P-132　論山院北里出土青銅鏡の微細組織の分析

○愈 在恩[1]、趙 詳紀[2]、朴 長植[3]　(1韓国国立文化財研究所、2中央文化財研究院、3弘益大学校)

特別ポスター展示
山崎一雄先生を偲んで

【休憩室　ホール2】

機器展示企業

株式会社パレオ・ラボ

株式会社ＣＵＢＩＣ

アワーズテック株式会社

理研計器株式会社

コンピュータ・システム株式会社

テクノシステム株式会社

日本電子株式会社

エクスロン・インターナショナル株式会社

株式会社トヨタケーラム

株式会社リガク

アメテック株式会社　スペクトロ事業部

株式会社パレット

株式会社三ツワフロンテック

ブルカー・オプティクス株式会社

SI サイエンス株式会社

広告掲載企業

株式会社田中地質コンサルタント

株式会社パレオ・ラボ

関西保存科学工業株式会社

株式会社古環境研究所

富士シリシア化学株式会社

マミヤ・デジタル・イメージング株式会社

株式会社アクト

株式会社パレット

株式会社三ツワフロンテック

ブルカー・オプティクス株式会社

口頭発表要旨

祇園精舎発掘プロジェクト

インド サヘート（祇園精舎）・マヘート（舎衛城）遺跡の調査

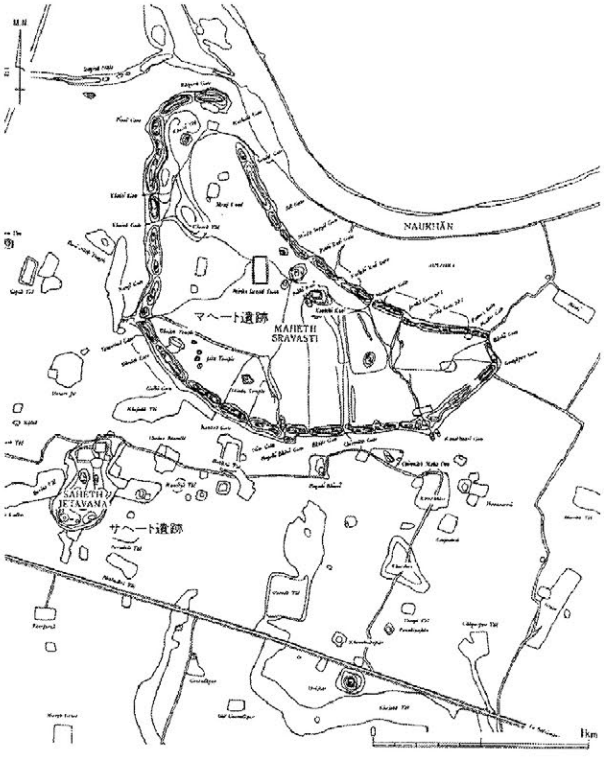
米田文孝（関西大学）

1. サヘート・マヘート遺跡の概要

祇園精舎の名は，『平家物語』の冒頭にある「祇園精舎の鐘の声，諸行無常の響きあり」や，『今昔物語集』の「須達長者，祇園精舎をつくれること」と題する説話からもよく知られ，わが国では古来よりある種の憧憬の念をもって定着している。関西大学は創立 100 周年記念事業の一環として 1986～88 年度，この祇園精舎の遺跡であるサヘート遺跡の総合学術調査を実施した。仏教遺跡であるサヘート遺跡は，古代都市遺跡であるマヘート遺跡の西南方向約 500mに位置する。このマヘート遺跡はその周囲に全長約 5.23km を測る城壁（土塁）が顕著に遺存しており，この囲繞する城壁によって区画される遺跡（城内）の総面積は約 160ha を測る（第 1 図）。サヘート遺跡に続き，1991 年度からは後述する視点と目的にもとづき約 10 ヶ年，文部省科学研究補助費を受けて，マヘート遺跡の発掘調査と出土資料の整理を実施した。

サヘート遺跡は 1863 年，イギリス人考古学者のA・カニンガムが仏教聖典をはじめとした文献史料に頻出するシュラーヴァスティーに比定した。このカニンガムの推定に対して，インド古代史の研究者V・スミスが反論を展開した。しかし，1908 年の発掘調査でサヘート遺跡からジェータヴァナ（祇園精舎の古名）であることを確証する有銘銅板が発見され，結果的にマヘート遺跡についてもその同定が可能になった。シュラーヴァスティーは，東晋の沙門法顕の西域求法旅行記である『法顕伝』において，コーサラ（拘薩羅）国の舎衛城，あるいは単に舎衛国と音写され記録された。現在，遺跡の周辺地域一帯は，シュラーヴァスティーという古名に因んだ名称で呼ばれている。

原始仏典には，初期仏教集団の活動が都市という政治・経済基盤によって維持されていた様相が色濃く見受けられる。この状況は仏教聖地が当時の都市遺跡の近郊に所在している状況によっても推測でき，これらの密接な関係の把握・解明を企図する調査研究は，仏教発展の基盤を考究する有力な視点である。



第 1 図　サヘート・マヘート遺跡周辺地形略測図

19 世紀後半以降，インド亜大陸において都市遺跡や仏教寺院遺跡の個別的な発掘調査は数多く実施されているが，都市と寺院という性格が異なる遺跡を一地域内で，有機的に関連する複合体として位置づける発掘調査や研究動向は稀薄な状況にあった。このような観点から，サヘート・マヘート遺跡における一連の調査研究は，遺跡の時間的併行関係の把握をはじめ，古代都市と仏教寺院の総合的理解の実現に向けた視点を基礎とした。

具体的には，各文化層における遺構・遺物の内容を把握するとともに，各時期における遺構の水平的造営状態を確認することを基礎にして，遺跡変遷の編年的枠組みの確立を目的とする。さらに，マヘート遺跡では調査目的を明確にした多年次に及ぶ発掘調査を通じて古代都市の発展・衰退過程を考究し，さらにサヘート遺跡という宗教施設との時間的併行関係を把握することに立脚して，宗教施設と古代都市という，複合体の総合的理解を指向した。

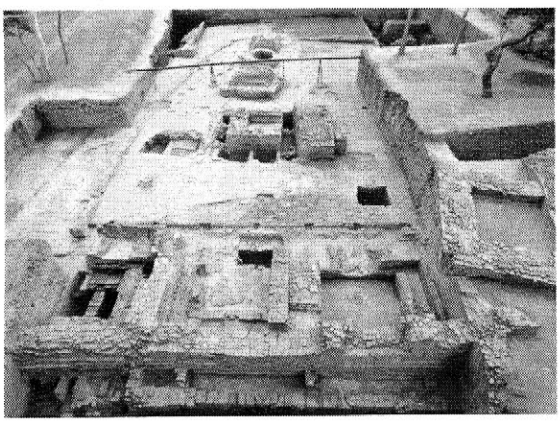
2. サヘート・マヘート遺跡の発掘調査成果

マヘート(舎衛城)遺跡の広大な城内全域は中央政府により保護遺跡として指定されている。その結果,周辺住民による薪材伐採は少なく,遺跡の大部分は繁茂した喬木・低木を中心に密生した状態の植生に覆われ,雨風による自然的破壊から保護されている。また,現用住居建造への転用を目的とした遺丘内や露呈した煉瓦積建造物からの煉瓦材の抜き取りも顕著ではないため,古代都市が衰退・廃絶した以降の景観がほとんど改変を受けることなく残存している稀有な遺跡としても重要である。一方,仏典に頻出し八大仏教聖地の一つとして早くから注目されたサヘート遺跡は,1910 年の発掘終了以降,検出された煉瓦積遺構が復元され,遺跡公園として順次に整備された。その周辺にはタイやミャンマーなどアジア各国の仏教寺院が建立され,釈尊の事跡を偲ぶ聖地として巡礼者を受け入れている(第 2 図)。

サヘート・マヘート遺跡は 19 世紀後半以来,A・カニンガムやW.ホーイ,J. Ph.フォーゲルらが発掘調査を行ったが,発掘調査は顕著に形成された遺丘を中心にしており,結果的に遺跡編年上では比較的新しい段階(グプタ朝期あるいはポスト・グプタ朝期)の煉瓦積遺構を検出するにとどまった。1957 年,K.K.シンハが実施したマヘート遺跡の城壁と城内における発掘調査では,主要文化層からの出土遺構と共伴遺物の整理・把握が行われた。マヘート遺跡の変遷過程を素描した,画期的な発掘調査であった。

基本土層序についてみると,今回の発掘調査により確認できた文化層は,北インド地域に分布する併行時期の各遺跡の調査成果を勘案した場合,地山層直上まで発掘できたマヘート遺跡で次の 6 層に大別することが可能である(第3図)。ただし,現状では理化学的な分析成果が蓄積されておらず,各文化層の絶対的年代の確定は困難であるが,Ⅰ期:黒縁赤色土器・黒色スリップがけ土器段階(前1千年紀前葉),Ⅱ期:前期北方黒色磨研土器段階(前1千年紀中葉),Ⅲ期:後期北方黒色磨研土器段階(前1千年紀後葉),Ⅳ期:クシャーン朝併行段階(後1千年紀前葉),Ⅴ期:グプタ朝併行段階(後1千年紀中葉),Ⅵ期:ポスト・グプタ朝併行段 階(後1千年紀後葉)と措定できる。出土遺物は,数量的にその大半を占めるのは各時期を通して各種の土器類である。これに土製品が次ぎ,金属製品や石製品,骨・象牙製品が同程度に出土している。

第 2 図 サヘート遺跡中心部の現状



第 3 図 サヘート遺跡G地区の発掘状況

3. 文化遺産の保存活用の実状

インド共和国内では,27 件(文化遺産 22 件,自然遺産 5 件)の世界遺産が登録されている。1880 年代には世界遺産に登録された文化遺産や自然遺産を訪問する外国人観光客が増加した。1990 年代にインド政府の経済政策が転換され,その結果急激な経済発展と新興富裕層の増加を生じ,国内観光客も急増した。この状況に歩調を合わせ,登録遺跡では保存修復対策と観光施設化対策,特に後者が積極的に進められるようになった。

発表では煉瓦積建造物修復の先駆的事例であるサヘート・マヘート遺跡の発掘調査とその修復状況を報告する。さらに,登録遺跡を中心に促進される都市・遺跡間の道路整備や壁画の保存修復事業などと,近年その荒廃や破壊が加速する遺跡の実態,行政の取り組みについて,石窟寺院の事例を通じて紹介したい。

アンコールワットプロジェクト

沢田正昭（国士舘大学）

本プロジェクトは、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究A（海外学術調査）「アンコール遺跡・バイヨン寺院浮き彫りの保存方法の研究」にもとづく研究であり、同時に日本国政府アンコール遺跡救済チーム（代表・中川武・早稲田大学）との共同研究の一環でもある。プロジェクトメンバーは、内田悦生・下田一太（早稲田大学）、池内克史（東京大学）、片山葉子（東京農工大学）、松井敏也（筑波大学）である。

バイヨン寺院の浮き彫りに関する事前の正確な記録方法の開発、それは単に浮き彫りの現状を記録するにとどまるものではなく、岩石表面から得た吸光度スペクトルと岩石の劣化状態や着生物との関連性を究明し、保存修復技術に資することを考えている。同時に、岩石学的な視点からの劣化のメカニズムの解明を平行して実施している。これらの研究成果を総合的に検討して、着生物の除去、浮き彫りの保存材料の開発と技術研究を推進するものである。まず水の挙動や分布状況を解明し，それぞれの劣化原因と水の挙動との関係を突き止め，劣化を抑制・回避するための手掛かりを究明する。また、多角的な着生物の研究をふまえて、除去方法のみならず着生抑止方法の研究を検討している。岩石学的な研究と併せて修復科学的研究との三位一体の総合的な研究を行っている。

1）アンコール遺跡の岩石学

砂岩は、ラテライトとともにアンコール遺跡で使われている重要な建築材のひとつである。アンコール遺跡の砂岩材には、灰色～黄褐色砂岩、赤色砂岩、緑灰色硬砂岩の3種類があるが、このうち、灰色～黄褐色砂岩が最も一般的な砂岩であり、他の赤色砂岩および緑灰色硬砂岩は局所的に使用されているのみである。

灰色～黄褐色砂岩は、アンコール・ワット期までは比較的質が良く、色の変化が少なく、その多くは灰色を呈している。しかしながら、バイヨン期になると色の変化が顕著になり、灰色の砂岩に加え、黄褐色や赤褐色を呈する砂岩が多く混在するようになる。また、バイヨン期の砂岩では堆積時にできた層理や葉理が目立つが、アンコール・ワット期までの砂岩ではそれほど顕著ではない。このように時期により砂岩の色や質に違いが認められるが、その構成鉱物や化学組成には全く違いが認められず、岩石学的には長石質アレナイトに分類される。主たる構成粒子は、石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、白雲母および岩石片である。

2）アンコール遺跡の微生物学

砂岩表面の微生物叢と石材劣化との関連を明らかにすることは、劣化に直接関わる微生物の特性の解明、ならびにそれらの微生物の生育抑制の方策に繋がることが期待される。

浮き彫り表面に分厚い層を成すバイオフィルムには、どのような種類の、そしてどのような性質の微生物が含まれているのかを知ることは、微生物劣化から浮き彫りを守るうえで最も基本となる情報である。そこで、石材表面に生息する微生物について、特に元素状硫黄や様々な硫黄化合物を酸化し、その過程で代謝産物として硫酸を生成することが知られる硫黄酸化微生物について、劣化石材上での菌密度の経年変化と、それらの菌の分離を行っている。一方、自然界の微生物の中で、現在培養可能なものはきわめて限られた一部のものでしかないことも明らかとなっている。そこで、培養の操作を経ることなしに微生物叢を知る方法として、特定の遺伝子の情報を基にした解析も行

っている。

3）アンコール遺跡の光学的研究

色の見えは、主に光源環境の特性、物体表面の反射特性、視覚系の特性によって決定される。つまり、光源から発せられた光が物体表面で反射され、その反射光が人の目やカメラなどの視覚系の特性を通して色として知覚される。よって、これらの特性が変化すれば異なる色が観測される。例えば、同じシーンを違うカメラで撮影した写真の色が違ったり、人の目で実際に見る色と写真で見る色が違うのは視覚系の特性の違いが原因である。色情報の元となる光は、各波長で強度を持つ連続スペクトルの情報であり、可視光領域における連続スペクトルの波形によって色の違いが現れる。浮き彫り壁面着生物の色解析では、この吸収スペクトルを解析することで、着生物の種類を同定できる。着生物は特定の吸収スペクトルの光を太陽光から吸収して光合成を行っている。吸収スペクトルの波形は、各着生物の持つ光合成色素の種類によって異なっている。そこで我々は壁面の吸収スペクトルの波形の違いを分析して、着生物の「種類」「分布」「繁殖サイクル」を解明することを目的とし、現地調査に適した計測システムの開発を行っている。

4）保存修復構想

基本的な劣化石材への処置は，「石材表面の着生物の除去」「劣化した石材の強化」「強化後の撥水剤による処理」の三項目となる。これに加えて，応力集中による破損石材への保存対策として、石材の接着、擬石補填による構造的な強化と目地の充填強化などの処置を行う。また、バイヨン寺院に数多くみられる例だが、破断石材の接着方法・材料の改良・改質も含めて重要な課題である。これを果たすためには、破断した石材の接着剤それ自体に砂岩と同等の透水性を付加するための材料研究，また構成部材を解体しない状態で，また遺構を汚損することなく処置するための施工技術も検討する。さらに、欠損部の整形・補填材料の研究がある。

こうした実験研究から施工に至る実質的な研究の成果は、アジアの広域に分布する石造文化財に対し、個々の物件ごとに具体的な保存方法を提示し、それを共有化し得るひとつの先行事例となろう。海外文化的支援の一環として、保存修復事業の分野でより精度の高い研究プロジェクトが実現することをめざしている。

1）内田悦生・田久保豊・豊内謙太郎、クメール帝国地方遺跡に使用されている砂岩材、日本文化財科学会第27回大会要旨集、2009年7月11日。

2）森本哲郎、池内克史、"Normalized Cut 法を用いた分光情報に基づく色復元、映像情報メディア学会誌、Vol.62,No.9、1453-21560、2008

3）久住朝子、李賢淑、左近洋、長井冨美子、片山葉子、アンコール遺跡劣化石材の微生物群集構造解析、第24回　日本微生物生態学会、2008年11月26日

カンボジア・バイヨン寺院

シリア・パルミラ遺跡

○西藤清秀（奈良県立橿原考古学研究所）

1. はじめに

パルミラは、シリア沙漠中央のオアシスに形成された隊商都市であり、B.C.19 世紀には後のベル神殿建造地にテルが形成された。パルミラは、ギリシャ語で「なつめやし」を意味し、アレキサンダー大王の東征以降、ギリシャ人の拡散とその影響のもと、外国人によって呼称された地名である。当地では同じく「なつめやし」を意味する「タドモル」という地名が B.C.19 世紀より現在まで使用されている。パルミラが、もっとも繁栄するのは B.C.1 世紀から A.D.3 世紀頃である。ローマ帝国をはじめとしたシルクロード沿線に出現したパルテイア、クシャン、後漢の4大帝国は緊張関係にあり、パルミラはその関係を巧みに利用した。特にローマとの関係は強く、ローマの国情がパルミラにも反映し、3 世紀後半の女王ゼノビアの時期には小トルコからエジプトまで支配した。しかし 272 年ローマによって滅ぼされた。パルミラ遺跡は、ベル神殿を中心に、1.5km の列柱路が延び、それに沿って劇場、浴場等の公共施設、店舗、住宅が街を構成し、その外側には４箇所の墓地が存在する（図 1・2）。

このパルミラにおいて奈良県は 1988 年の「なら・シルクロード博覧会」を契機に調査の機会を得、1990 年より 2000 年まで東南墓地での発掘調査と修復を実施した。2001 年以降、現在まで奈良県立橿原考古学研究所が中心に日本学術振興会研究補助金（代表西藤清秀）を得て東南・北墓地において発掘調査を実施している。

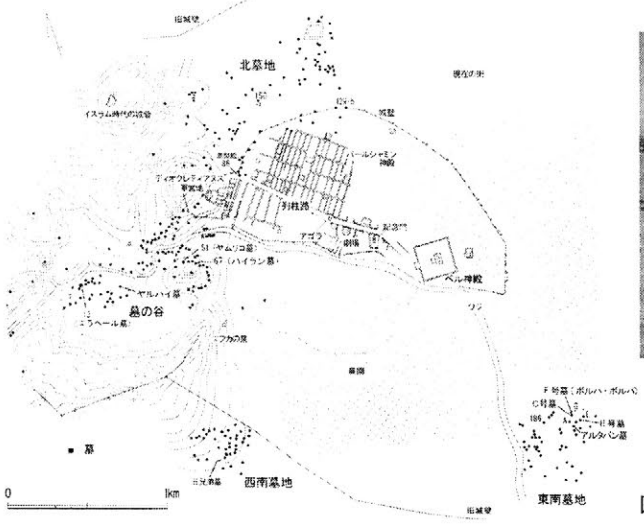


図１　パルミラ遺跡全体図

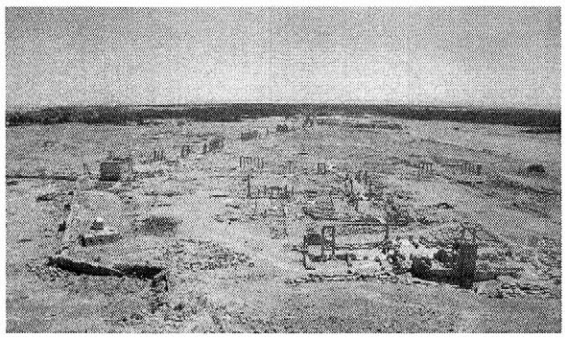


図２　パルミラ遺跡全景（北より）

２．パルミラ遺跡の特色

パルミラ遺跡は、東西 4km、南北 3km の範囲の中にアクロポリス・ネクロポリスが営まれ、そこには現在、人々の住居はなく、2 世紀から 3 世紀のパルミラが最も繁栄した面影を残している。遺跡には柵や塀など遺跡を囲い込む施設はない。遺跡の中での個別の遺構、ベル神殿、アラブ城、塔墓、地下墓などの入場に際して見学料を支払うが、広大な遺跡の見学には何も支払う必要もなく、何らの許可も必要ない。いつでも遺跡を見て回ることができる。その状況は、シリアを統治していたフランスが 1929 年から 1932 年に観光施策としてパルミラ遺跡内の住居の強制移転を実施し、遺跡の北東部に新市街を建設したからである。当時、移転には多くの問題が噴出したことは想像に難くない。現在、新市街は、社会資本の充実によって利便性に富んだ生活が送れるように図られている。もし遺跡の中での生活が続いていたならば、遺跡が人々の生活を脅かし、遺跡も破壊・消滅したであろう。当時、最も人口が集中した所は、ベル神殿であった。一辺 200m のベル神殿の境内に 200 軒あまりの家屋に 3000 人くらいが居住していたが、神殿の東南隅の１軒を残し、すべて取り壊された。その１軒は、当時フランスが事務所兼宿舎として使用した。そしてその建物は、現在シリア古物博物館関係総局・考古学関係者の宿舎として使用されている。この建物は建造 200 年近く経ち、文化財的な意味も増してきている。

この遺跡では現在、地元のシリア、ポーランド、ドイツ＆オーストリア、日本、フランス、アメリカ合衆国、イタリアが発掘調査を実施している。そしてその調査成果に合わせて調査箇所の修復・復元をおこなっている。そのため考古学的な事実に即応した修復・復元が実施され、年を追うごとに遺跡の様

相を変えている。まさにパルミラ遺跡は、野外博物館として成長し続け、歴史的な環境が沙漠の上に再現されている。歴史的・自然環境的にも往時の様相を体現できる世界でも数少ない遺跡である。

３．日本隊の調査活動

1990 年、パルミラ遺跡東南墓地において電磁波を利用して地下墓の探査を実施した。その結果、1991･1992 年に発掘調査を実施し、109 年ヤルハイに建造された C 号地下墓を発見した。葬送用彫像に描かれた有翼の女神ニケやお守りなど東西の文化交流を示す遺物も確認した。さらにヤルハイ家の家族関係、性別、年齢、体格、病理などが明らかになった(Higuchi and Izumi ed.1994)。

1992 年、ボルハ・ボルパ兄弟が 128 年に建造した F 号地下墓を発掘し、門の譲渡碑文から彼等が高位の家族であることが判明した。F 号墓の墓室は、多様な唐草文様・花文が施され、壁龕には解放奴隷の彫像付石棺、奥室には家族饗宴場面をトリクリウムに配した石棺が据えられていた。サチュロス風の頭部の浮彫付建造碑文は、東方の辟邪に通じるものがあった。この調査を踏まえ、1999 年・2000 年に修復・復元を実施し、建造当時の姿に戻すことができた(Higuchi and Saito ed. 2001)。

2001 年度に調査を実施した石蓋木棺墓（G 号墓）は B.C.3-2 世紀の金製の装身具を多数身に付けた中年男性を葬ったパルミラ最古の墓であった。この墓の発見は、パルミラの都市や家族墓の成立など葬制とパルミラ社会を考える上でも重要な課題を提供した（西藤　2005）。

2001 年・2002 年には E 号地下墓を調査し、2002 年から 2004 年、タイボールが 113 年に建造した H 号地下墓を発掘した。死者の胸像が棺棚小口にはめられ、壁龕には家族饗宴像３基の石棺がコの字状に配されていた。これらの彫像の中で家族饗宴像はパルミラでは唯一頭部がすべて残存する。棺の調査では副葬品と死者の関係、遺体の性差・年齢による埋葬方法の相違、遺体の病理等が解りつつある。パルミラ人の墓の観念が、碑文の「永遠の家」のごとく、死者と生者と常に共存する世界であることが理解できた（西藤　2005）。2005 年度には住友財団より助成を得て、H 号墓（タイボールの墓）の修復・復元を実施した。F 号墓・H 号墓では三次元計測を実施し、三次元画像の活用の大いなる可能性を得た。

2005 年には 186 号家屋墓を調査し、2006 年からは北墓地の 129-b 号家屋墓の調査を実施している。この家屋墓は、基本的には南から北側に倒壊し、構造石材が幾重にも積み重なった状況であった。この崩れ落ちた石材の状況を３次元レーザー実測システムによって計測し、倒れこんだ家屋墓石材の隙間や周辺に堆積した土砂の除去、精査、３次元レーザー実測（倒壊内部の情報を付加）、石材撤去、個々の石材計測と埋葬施設の検出に務めている（西藤 2009）。

４．おわりに

パルミラ遺跡は、生きた遺跡である。それゆえ日々その様相は変わり、訪れる人々にさまざまな思いを提供してくれる。このような他に類を見ないフィールドミュージアムとしてのパルミラ遺跡では外国隊やシリアの調査団の発掘調査そのものも言わばミュージアム経営の一環として位置付けられる。さらに発掘の成果をもとに修復・復元が行われ、古代の歴史環境の再構築が行われている。まさにパルミラ遺跡は、変わり続ける遺跡としても機能している。

1990 年以来、パルミラで調査を実施し、研究、人間関係などさまざまな領域で信頼を得られるようになった。海外での文化財調査の成功は、一にも二にも「信頼」が最も重要であり、それが継続に繋がり、成果を生み出す力となることを痛感している。

参考文献

Higuch,Takayasu and Izumi, T(ed.)1994『Tombs A and C Southeast Necropolis Palmyra Syria Surveyed in 1990-92 Publication of Research Center for Silk Roadology Vol.1』71-105 Research Center for Silk Roadlogy

Higuchi, Takayasu and Saito, Kiyohide(ed.) 2001『Tomb F-Tomb of BWLH and BWRP- Southeast Necropolis Palmyra, Syria Publication of Research Center for Silk Roadology Vol.2』 Research Center for Silk Roadlogy

西藤清秀　2005『パルミラにおける葬制とその社会的背景に関わる総合的研究』平成 13-16 年度科学研究費補助金基盤研究(A)研究成果報告書（課題番号 13301022）

西藤清秀　2009『古代パルミラの葬制の変化と社会的背景にかかわる総合的研究』2005-2007 年度科学研究費補助金研究成果報告書（課題番号 17251008）

サッカラ壁画プロジェクト

吹田浩（関西大学）

１．はじめに

2003年より関西大学を中心にエジプトのサッカラ遺跡において古代エジプト時代の壁画の保存のための研究を行ってきた。サッカラは、カイロ近郊にあって、最古のピラミッドである階段ピラミッドを始め、紀元前３千年から紀元後にいたるまでの多様な遺跡が数多くあることで知られており、隣接するギザなどと合わせて、「メンフィスとその墓地遺跡－ギザからダハシュールまでのピラミッド地帯」として世界遺産に登録されている。

多くの発掘が行われているエジプトでも、現在、文化財の保存と修復が重視されるようになっている。2000年にカイロで開かれた「国際エジプト学者会議」にて、古物最高評議会(Supreme Council of Antiquities)の事務総長であったザヒ・ハワスは、ギザからアブ・シンベルにいたる発掘の中心地域では、新規の発掘の許可を認めず、文化財の修復のみを許可すると述べた。

サッカラの壁画保存プロジェクトは、2003年に「日本・エジプト合同マスタバ・イドゥート調査ミッション」として始まった。このプロジェクトは、吹田とアフメド・シュエイブ（カイロ大学）が、日本とエジプトが相互理解の上に立って、保存修復のプロジェクトを始めようとしたことに始まり、本来的に多国籍的、学際的な性格をもっている。現在、日本、エジプト、ポーランドの研究者、エジプト学、文化財科学、修復技術、地盤工学、考古学、さらに博物学、古典学、都市計画論、微生物学、高分子化学、化学分析などの分野から活動している。

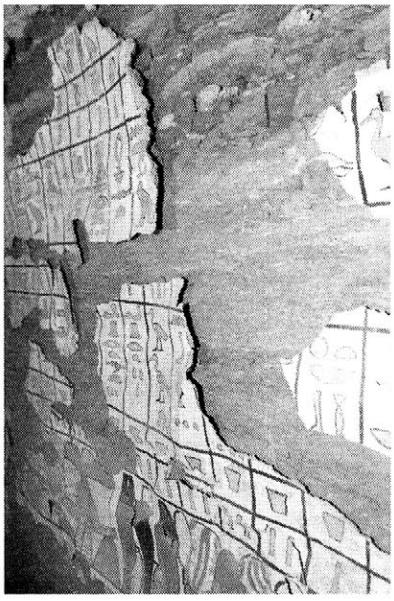
２．イドゥートのマスタバと地下埋葬室の壁画

「イドゥート」というのは、調査の対象となったマスタバ墓の所有者である女性の名前である。彼女は、ギザの大ピラミッド（クフ、カフラー、メンカウラー）で知られる古王国時代第４王朝に続く第５王朝の最後の王ウニスの娘であったと思われる。マスタバは、紀元前2360年ごろに遡り、古代エジプト史の中でも極めて古く貴重なものである。

古代エジプト時代、死者は単純に死んだものとしてではなく、復活して生活しているものと考えられていたため、地下の埋葬室にはそれなりの広さの空間が確保され、副葬品が納められ、壁面には死者の安寧のために絵や文字が残された。イドゥートでは、地表から10mほどの深さに南北10m半、東西4.5m、高さ３mほどの空間が作られた。そこには、石棺があり、壁面には石膏の漆喰に牛、鳥、パンなどの食料の絵と、それらを書き記した文字などが残されている。

この地域での問題は、サッカラ・ギザ地域にあるマアディ層と呼ばれる後期始新世の地層である。ここには、王家の谷などで知られるルクソールとは異なり、粘土や砂が多く含まれ、泥灰岩と粘土質の石灰岩として脆弱である。サッカラ・ギザには多くの地下構造物にはいずれもクラックがあり、不安定である。

イドゥートの壁画では、漆喰が大きく波打って、かなりの部分が剥落していた。修復に際して、母岩そのものが脆



東壁（修復前）

弱であることから、剥ぎ取りによる方法を選択した。サッカラでは、年に20ミリ程度の雨量しかないものの、4千年を超える期間のあいだには壁面が膨張し、収縮したことがあったものと思われる。

3．修復の方法

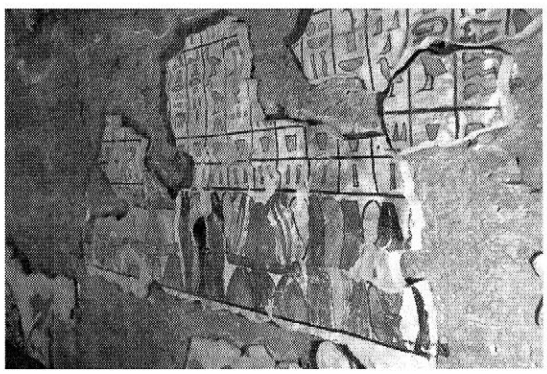
裏打ち

壁画が閉鎖された空間にあることから、可能限り有機溶剤ではなく、天然素材を使うことにした。壁画の顔料止めにはパラロイドB72をアセトンとトルエンで行ったが、表打ちでは布海苔でレーヨン紙、和紙を用いた。裏打ちは、ポーランド式でポリスチレンの層を付けた上で、カーボンファイバーをエポクシ樹脂で取り付けた。現在、それらは壁面に仮止めしている。

布海苔の接着力は、とりわけ強いわけではないため、表打ちから裏打ちなどの工程は丁寧に行う必要があり、何よりも剥ぎ取りには時間がかかる。壁画の剥ぎ取りによる修復は、エジプトでは行われたことがなく、「エジプトの壁画保存の重要なケース・スタディー」と位置づけられている。

4．エジプトでの保存と修復

エジプトの壁画修復技術は、原理上は完成している。現在、壁画の最終的な保存方法を考えている。また、壁画の多様な状態に対応する技術、効率のいい技術を求めている。さらに、壁画にとどまらずエジプトの文化財の保全と修復を、地盤班、文化・都市班、保存修復班、技術開発班など多角的なアプローチを行っている。日本隊とエジプト隊の両方の側面をもてとり、カイロ大学、ナショナル・リサーチ・センター(NRC)などの現地機関との連携を強化している。



壁への仮止め

なお、発掘から文化財の保全への移行は、個々の調査隊を越えて組織レベルでも進んでいる。欧米各国は、エジプトに恒常的な研究支援組織をおいているが、アメリカのAmerican Research Center in Egyptは、米国国際開発庁、古物最高評議会とAntiquities Endowment Fundを設立し、保存修復公開、エジプト人職員の研修、アメリカ人学生の現地教育、出版補助を行っている。

科学研究費（B）2003-2004年度、2005-2008年度　　住友財団2005-2009年度
文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業、2008-2012年度

「サッカラのイドゥートのマスタバの埋葬室における壁画の剥ぎ取り」『国際シンポジウム　エジプトの壁画保存と日本の貢献』、関西大学エジプト文化・文化財研究プロジェクトユニット、2008年。
吹田浩、「日本・エジプト合同マスタバ・イドゥート調査ミッション第６次・第７次調査（2008－09年度）の概要」『Semawy Menu』第１号（2010年）。

X線分析顕微鏡による
潜在指紋検出（ﾆﾝﾋﾄﾞﾘﾝ法）と呈色反応物の還元消去処理を受けた
封筒に残る「ブルーブラック・インク」と
「青色ボールペン・インク」の非破壊同定

○下山　進，高木 秀明，大下 浩司（吉備国際大学）

1．はじめに

筆記用具には，先端を切り割りした金属製のペン先部分をインク液に浸けて筆記する“付けペン”，あるいは同様のペン先部分とインク液を貯める貯蔵部分を接合させて成型した“万年筆”が古くから使われている。また，日本では戦後の昭和23年（1948年）頃に初めて青色インクの“ボールペン”が登場した。このボールペンは，微小な金属ボール（球体）を先端に仕込んだペン先部分とインクを充填した中芯部分（インキ収納管）を接合させて成型したもので，ペン先に仕込まれた球体に接しているインクがボールの回転とともに紙面上に転写されていく。

また，それぞれの筆記用具の構造の違いから異なる性能のインクが求められ，インクの組成も異なっていた。古くから使われている“付けペン”あるいは“万年筆”用のインクには，もっぱら「ブルーブラック・インク」が使用され，これとは構造の異なるボールペンには，青色色素を混合した油状物が「青色ボールペン・インク」として使用された。この両者のインクの識別は，それが溶剤によって滲んだり拡散したりするか否かによって判定された。例えば，筆記文書から指紋を検出する場合，文書は「ニンヒドリン・アセトン溶液」を用いる潜在指紋検出や，その後に行われる「過酸化水素」還元消去処理を受ける。主たる目的は指紋検出にあるが，このときの文字の滲みや拡散の程度から，いずれの文字が「ブルーブラック・インク」で書かれたものか，あるいは「青色ボールペン・インク」で書かれたものか判定された。この化学反応処理に用いるアセトンや水によって，「ブルーブラック・インク」で書かれた文字は滲まないのに対し，逆に「青色ボールペン・インク」で書かれた文字は滲み拡散するからである。しかし，この滲み拡散の差によって，両者を識別することは，困難な場合もあった。

我々は，「ブルーブラック・インク」あるいは「青色ボールペン・インク」によって書かれた文字に残存している原料由来の成分元素に着目した。すなわち，「ブルーブラック・インク」で書かれた文字には鉄元素が存在し，「青色ポールペン・インク」で書かれた文字には鉄元素が存在しない。たとえ，上記のような潜在指紋検出や還元消去処理を受けた文書に残る文字であっても，それが「ブルーブラック・インク」で書かれた文字であれば，そこには依然として鉄元素が分布し残存していると考えた。

2．「ブルーブラック・インク」と「青色ボールペン・インク」の成分元素

「ブルーブラック・インク」は，タンニン酸，没食子酸，および硫酸第一鉄を主成分とし，これに青い色素（酸性染料あるいは直接染料）を加えたものである。このインクで文字を書くと，書いた当初は色素の青色が現れている。しかし，その後，紙の上の文字は，時間の経過とともに空気中の酸素に触れて酸化作用を受ける。すると，文字の中のタンニン酸と硫酸第一鉄の反応が，また没食子酸と硫酸第一鉄の反応が進んで，それぞれ黒色物質（タンニン酸第二鉄や没食子酸第二鉄）を生成することになる。しかし，いずれにせよ「ブルーブラック・インク」によって書かれた文字には，使用した原料に由来する水素（H），炭素（C），窒素（N），酸素（O），ナトリウム（Na），イオウ（S），そして鉄（Fe）が成分元素として残存することになる。ここで重要なことは，「青色ボールペン・インク」そして「紙」の成分元素には無い，鉄（Fe）元素が「ブルーブラック・インク」で書かれた文字に残存していることである。

一方，「青色ボールペン・インク」は，主に油性のヒマシ油（あるいはヒマシ油の硫酸エステル，もしくは脂肪酸や不飽和脂肪酸）に青色の色素（酸性染料，直接染料あるいは塩基性染料）を加えて混合した油状物である。いずれの場合であっても，使用した原料に由来する元素には，上記の「ブルーブラック・インク」の場合と異なり，鉄（Fe）元素が含まれていない。

３．Ｘ線分析顕微鏡（ＸＧＴ）による非破壊分析

堀場製作所エネルギー分散型「Ｘ線分析顕微鏡(XGT-5000)」を使用した。このＸ線分析顕微鏡（ＸＧＴ）によって画像解析した検体は，品川郵便局 昭和37年4月7日付消印 の封筒「**検体Ⅰ**」と渋谷郵便局 昭和37年12月6日付消印 の封筒「**検体Ⅱ**」である。いずれも50年近く経過しおり，当時行われていた潜在指紋検出（ニンヒドリン法）と呈色反応物の還元消去処理を7年前に行ったもので，剥がれや破れがある。

それぞれの検体は，ホルダーに固定して（**図１**），ＸＧＴ本体の平面な試料台にセットし（**図２**），非接触・非破壊で分析した。測定部分は，**図３**に示した通り，**検体Ⅰ**では宛名“山際永三様”の「際」の文字部分（**図３**の上段左・測定面：22×22 ㎜），**検体Ⅱ**では宛先住所“都下南多摩郡”の「摩」の文字部分（**図３**の上段右・測定面：22×22 ㎜）とした。

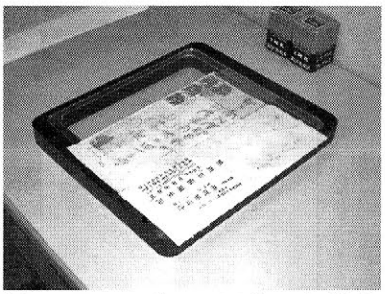


図１　ホルダーに固定した検体

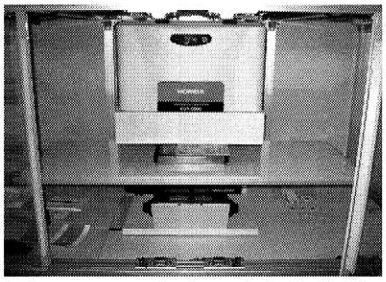


図２　ＸＧＴにセットした検体

このＸＧＴでは，検体測定面の上（表側）から下（裏側）に向けて，φ100 μm に集光した50 kV／1 mAの微細なＸ線ビーム光を非接触の状態で照射し，それに対して直角（平面）に置いた検体を0.044 ㎜/s（秒）の速度で平行移動させながら走査する。具体的には，検体測定面の左上角からＸ線ビーム光の照射を開始，検体を右へ22 ㎜平行移動させながら走査，その後，検体を元の位置に戻し，上に0.086 ㎜ 移動して照射位置を変え，再び測定面の左端から右へ22 ㎜ 平行移動させながら走査，この走査を繰り返して測定面全体にφ100 μmのＸ線ビーム光を順次照射した。この測定面（いずれの検体も面積：22×22 = 484 ㎟）全体の走査時間は1回あたり500ｓ（約8分），同一測定面における繰り返し積算回数15回行って終了させた（所要時間：約2時間）。そして，逐次得られる元素由来の特性Ｘ線データから鉄の元素を識別し，その分布状態を256×256 ピクセル（画素）のマッピング画像とした（**図３**の下段左右）。

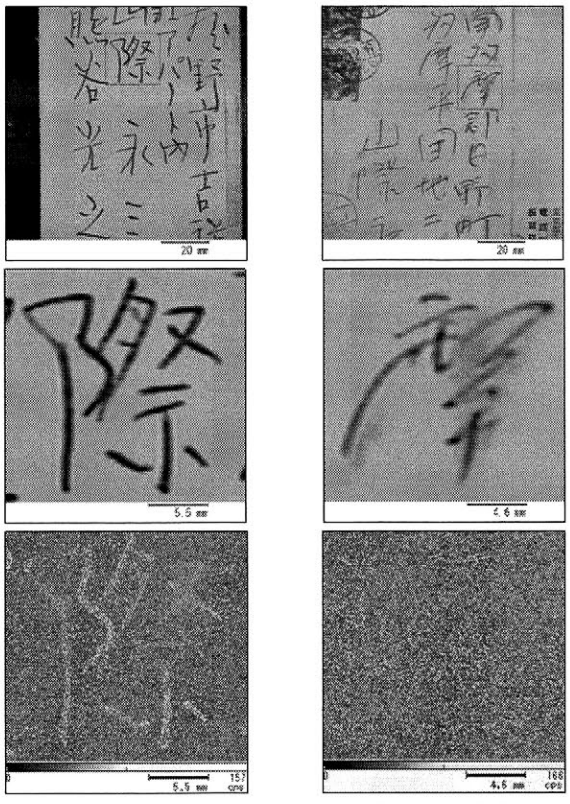


図３ 検体Ⅰ（左側）および検体Ⅱ（右側）
上段「測定した検体の画像」，中段「測定文字の光学像」，下段「鉄元素の分布（マッピング）画像」

４．解析結果と考察

検体Ⅰおよび**検体Ⅱ**から得られた「鉄元素の分布（マッピング）画像」（**図３**の下段左右）を対比すれば明らかなように，**検体Ⅰ**の画像（**図３**の下段**左**）には文字「際」の形態と重なるように鉄の元素が分布している。これに対して，**検体Ⅱ**の画像（**図３**の下段**右**）からは，鉄元素の存在がまったく確認できない。すなわち，**検体Ⅰ**に書かれている文字「際」には鉄元素が存在しているのに対して，一方の**検体Ⅱ**に書かれている文字「摩」には鉄元素が存在していない。このことから，**検体Ⅰ**に残されている文字は「ブルーブラック・インク」で書かれたものであり，一方の**検体Ⅱ**に残されている文字は「青色ボールペン・インク」で書かれたものであることが，ＸＧＴ画像解析によって明確に識別できた。

国宝高松塚古墳壁画の劣化原因

—高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会による報告書の概要—

○ 建石 徹　宇田川滋正　栗原祐司　(文化庁文化財部古墳壁画室)

1．はじめに

文化庁では、平成 20 年度から 21 年度の二年間にわたり、考古学・美術史学・保存科学・微生物学・材料科学・文化政策等の専門家で構成された高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会を設置し、当該古墳壁画の劣化原因に関する科学的・学術的な調査を行った。

この調査の成果は多岐にわたるが、いずれも高松塚古墳壁画の今後の保存活用に資することはもちろん、キトラ古墳壁画をはじめとする他の文化財の保存活用にも生かせる重要な内容が多々含まれる。

高松塚古墳壁画の劣化の進行をもたらしたものは、人為的な因子を含む複合的な要因の総和といえる。

2．高松塚古墳壁画の劣化の経緯と原因（表）

（1） 壁画発見前の前提

・ 壁画は制作後、約 1300 年が経過し、地震による墳丘・石室の損傷や盗掘の影響等による植物根・ムシ・カビの侵入、泥や水の流入、漆喰中のカルシウム成分の溶出等により、劣化が進行していた。

（2） 壁画の発見と現地保存方針の決定（昭和 47～51 年）

・ 昭和 47 年３月に発見された壁画は、様々な議論を経て、現地保存が決定された（昭和 48 年 10 月）。
・ 壁画修理の前室として石室南側（墓道部上）に保存施設を建設した（昭和 51 年３月竣工）。

（3） 昭和のカビの大発生（昭和 55～59 年頃）

・ 石室内における壁画修理中のこの時期に、石室内の湿度環境の変化、修理における作業や薬剤の選択、度重なる石室内への人の出入り等が複合して、壁面を含む石室内にカビが大発生した。
・ 白虎の退色は、昭和 55 年から 56 年頃のカビ処置等により、大きく進行した可能性が高い。

（4） 「かりそめの安定した時期」におけるチェック体制の不備（昭和 60～平成 12 年）

・ 保存施設竣工以降、高松塚古墳保存対策調査会は有名無実化し、作業が「現場任せ」になった。
・ この時期に、「平成のカビの大発生」に連なる石室内温度の上昇、取合部天井の崩落等が起こった。

（5） 平成のカビの大発生（平成 13～17 年頃）

・ 平成 13 年２月の取合部天井の崩落止め工事を引き金として、再び石室内にカビが大発生した。
・ 「昭和のカビの大発生」の際の劣化因子に加え、保存施設の温度調整機能の不具合等による石室内温度の上昇、取合部天井の崩落による常在菌を含む土層の露出等が複合して起こった可能性が高い。

（6） 石室解体方針の決定と石室解体（平成 17～19 年）

・ 「平成のカビの大発生」を契機とした様々な議論により、石室解体を決定した（平成 17 年６月）。
・ 石室解体方針決定前後の諸対策のいくつかは、生物被害の要因ともなった。

＊本調査の詳細については、『高松塚古墳壁画劣化原因調査報告書』及び文化庁ホームページ（http://www.bunka.go.jp/takamatsu_kitora/kentokaito/rekkachosa/index.html）を参照されたい。

表　高松塚古墳壁画の劣化原因に関わる事項の整理(概要)

年	墳丘・保存施設	人の出入り(人数)	生物被害・対策	温度変化	備考(委員会等)
昭和47年	3 発掘調査 3/21 壁画の発見 4 石室仮保護施設(覆屋)完成		PFAを布置		4 高松塚古墳応急保存対策調査会(～同年11月) 8 高松塚古墳総合学術調査会(～同年10月) 12 高松塚古墳保存対策調査会
昭和48年					4 特別史跡に指定 **10 現地保存方針の決定**
昭和49年	8 事前発掘調査(～12月) 9 保存施設工事着工	※			4 壁画を国宝に指定、出土品を重要文化財に指定
昭和50年					
昭和51年	3 保存施設竣工 7 機械室の諸装置からの放熱機器の一部改良		第1次全面調	外気温	
昭和52年				石室内温度	
昭和53年			第2次全面調		この頃から、PFAが気化しなくなった
昭和54年					
昭和55年	取合部崩落を確認				「先月10%注入した箇所・・・カビらしい」
昭和56年			PFAの燻蒸殺菌		1 「黒いカビ汚れと一緒に線描きが不明」 「白虎付近の黒い汚れは益々ひどくなっているように思える」
昭和57年					
昭和58年			第3次全面調		
昭和59年	10 取合部崩落の写真撮影				
昭和60年			年1回の点検(～H12)		
昭和61年					
昭和62年		※			
昭和63年		※			
平成元年		※			
平成2年	日誌に初めて取合部崩落の記載				
平成3年	取合部崩落の度合いを確認				
平成4年					
平成5年		※			
平成6年					
平成7年					
平成8年					
平成9年					
平成10年	取合部崩落「小康状態」				
平成11年					
平成12年	取合部崩落「断続的に続いている」				
平成13年	2 取合部崩落止め工事(～3月)				
平成14年					1 西壁壁画損傷事故
平成15年	5 墳丘部上のモチノキを伐採 9 墳丘部の防水工事 11 取合部再工事				3 国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会 (～16年3月)
平成16年	9 発掘調査(～17年3月) 9 墳丘上に覆屋設置				6 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会 (～20年3月) 6/20～ 壁画の劣化報道
平成17年	9 墳丘上に新覆屋設置 9 墳丘部の冷却を開始				**6 石室解体方針の決定**
平成18年	10 発掘調査(～19年9月)				4 高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査委員会(～同年6月)
平成19年	1 内部断熱覆屋設置 4 石室解体(～8月)				
平成20年	11 保存施設撤去(～21年3月)				1 公開シンポジウム(石室解体報告) 6 古墳壁画保存活用検討会(～22年3月) 7 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会(～22年3月)
平成21年	10 墳丘仮整備完成				
平成22年		50 100 150 200(人)		14 16 18 20 22(℃)	3 高松塚古墳壁画劣化原因調査報告書刊行 5 古墳壁画の保存活用に関する検討会(～現在まで)

※ 人の出入りがあったと思われるが、記録が残っていないため不明
PFA:パラホルムアルデヒド

外気温:奈良市気象台における年平均気温
石室内温度:石室内における最高月温度

大谷コレクション「李柏文書」の科学分析

○ 坂本昭二・倉石沙織・江南和幸・岡田至弘(龍谷大学 古典籍デジタルアーカイブ研究センター)

池田和彦・坂田雅之(株式会社 坂田墨珠堂), 河野益近(京都大学大学院工学研究科)

1. はじめに

「李柏文書」とは、第二次大谷探検隊の隊員であった橘瑞超が 1909 年に中国のロプ砂漠に埋もれた楼蘭遺跡で発掘した文書群を指し、この文書群はほぼ完全な形で残っている有名な主文書 2 点(重要文化財、IDP 文書番号: MS00538A, MS00538B)と 41 点の断片群(IDP 文書番号:MS08001A, MS08001B, MS08002, … , MS08012, MS08013A, MS08013B, MS08014, … , MS08039)からなる。これらは、近年に(株)坂田墨珠堂により保存修理処置が施され[1]、現在、龍谷大学大宮図書館に保管されている。また、これらのデジタル画像が国際敦煌プロジェクト(IDP)のホームページ(http://idp.afc.ryukoku.ac.jp) 上で公開されている。

この「李柏文書」は大谷探検隊が将来した文書の中でも最も有名なものの一つで、これまでに多くの研究がなされている。以下にそれらの概要を述べる。書写年代に関しては、羽田亨が主文書(MS00538A と MS00538B)の内容から、前涼の張駿の下で西域長史の李柏が焉耆(カラシャール)王に宛てて送った書簡の草稿であるとして、咸和三年から五年(328-330)に書かれたものであるとしている。次に、出土地に関しては楼蘭の LA 遺跡と LK 遺跡(LA, LK:スタイン遺跡番号)説があり論争になっていたが、近年は LA 遺跡で落ち着いているようである。これらの先行研究に関しては藤枝の解説[2]に詳しい。しかし、これまで、これらの文書に対する科学的な分析はなされてこなかった。本研究では、透過光および斜光撮影、高解像度スキャン、デジタル顕微鏡による表面観察、蛍光 X 線元素分析などの非破壊分析を行ったのでその結果を報告する。

2. 料紙分析

2.1 原材料

デジタル顕微鏡(KEYENCE VHX-1000)を用いて原材料である繊維の形態を観察し、その同定を試みた。この結果、大麻、苧麻、桑、稲藁、絹とみられる各繊維が見つかった(図.1～7 参照)。さらに、糸や布片の混入が多数確認できた(図.8)。これらは紙の原料として用いられた麻の糸や布の叩解が十分になされないまま残ったものであり、原始の製紙方法の姿が垣間みられる。糸片は各文書に何本も存在するが、長いものでは 20[mm]から 30[mm]くらいのものまで確認できる。布片は大きい物ではおよそ 15[mm]角程度の布片が確認できる。これらの多くは大麻とみられる繊維で作られていた。主文書 A(MS00538A)では料紙の面積における布片と糸が占める割合は 10%弱程度であるが、元はボロ布であったものが叩解されて繊維として存在するものも考慮に入れると、原材料として使用されたボロ布は数十パーセントにも及んだと予想される。また、繊維の中には激しく叩解されてフィブリル化が顕著にみられる繊維が一部にみられ、このような繊維の多くが苧麻繊維のようであった(図.6)。以上の分析結果より、当時の紙を作るための主原料は大麻(布と糸)や苧麻であったと思われる。これら以外に補助的な原料として桑や稲藁、絹などが使われていたようである。この他にも未同定の繊維、鳥の羽毛などの混入もみられた。

繊維以外の混入物として、すべての資料について(現在の和紙と比較して)多量の填料が混ぜられていた(図.9)。さらに、文書によって混入されている填料が異なっているようであった。特に断片 MS08019 は填料による滲み止めがされており、その表面は非常に平滑で、書かれている文字の滲みも少なく非常に質の高い料紙であった。一方で表面の凹凸が激しい文書断片も多く見られるが、その上に書かれた文字を見てみると滲みはさほど見られなかった。また、文書の色についてはかなりばらつきがあり、色の異なる料紙が何種類か存在する。従って、填料を混入した主な目的は滲み止めにあったと考えられる。

書写に使用された墨については、5000 倍の倍率でもその粒径が観測できることから松煙墨のような粒径の粗い墨を使用したと考えられる(図.10)。

2.2 製紙手法

多くの文書について料紙表面の繊維に配向性があまり見られないことから、溜め漉きの手法で漉かれたと思われる(図.11)。従って、地合の悪い紙が多いことも特徴としてあげられる。例えば、主文書 A では異なる 56 箇所で紙厚を計測したが、その平均は 0.22[mm]で最小値が 0.12[mm]、最大値が 0.33[mm]となっており、紙の厚さが不均一で地合の悪い紙であった。この他の文書の紙厚の平均値は 0.26±0.1[mm]に収まっており、比較的厚手の料紙であった。

透過光観察では簀の目模様がはっきりと確認でき、簀漉きの紙であることがわかる(図.12)。簀の目は 1[cm]当り 5 本程度で比較的粗い簀が用いられている。いくつかの文書では、約 5[cm]の等間隔で糸目が確認された。同様に、数点の断片文書からは刷毛目も確認できた(図.13)。

2.3 文書の形態

主文書 A は李柏文書の中でもそのサイズが最大の文書で、紙高が 23.5[cm]、紙幅が 39.3[cm]である。この料紙の上下左右の淵を見てみると、上下には紙の繊維が切断されていることが確認できるので、上下の耳は切られたようである。一方、紙の左右の淵にはこのような繊維が切断された跡は見受けられず、左右の料紙の耳が切られたか

どうかは不明である。従って、この料紙を漉いた漉き簀はこのサイズと同じ程度の大きさかそれ以上であったことがわかる。主文書 B のサイズは紙高が 23[cm]、紙幅が 28[cm]である。紙幅に関しては主文書 A と比べて短いが、紙高はほぼ同じである。紙の上下左右の淵を見てみると、上下および左の淵は繊維が切断されていることが確認できる。以上より、当時は文字が書かれていない余白部分を切り取って使用していたようである。また、両主文書の主に上部には針で開けたような小さな穴((主文書 A: 上部に 11 点、右側下部に 1 点、左側中央部に 1 点)(主文書 B: 上部に 6 点))があり、その穴の淵は黒くなっている(図.14)。このような穴は主文書と同じ内容が書かれた断片 MS08018 にもその上部に 1 点存在する。これらの穴は紙を縫い合わせた跡であろうか。また、紙高に関しては高さ方向に完全な形を残している MS08014, MS08018, MS08020, MS08021 より、当時の紙高は 23〜24[cm]が標準的であったことが伺える。

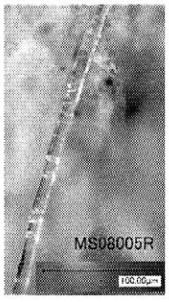


図.1 大麻繊維

図.2 苧麻繊維

図.3 稲藁繊維

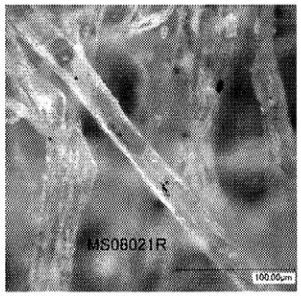


図.4 桑繊維

図.5 絹繊維

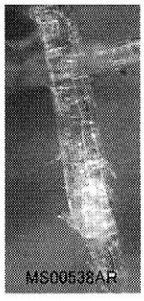


図.6 苧麻繊維

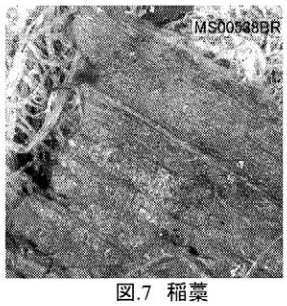


図.7 稲藁

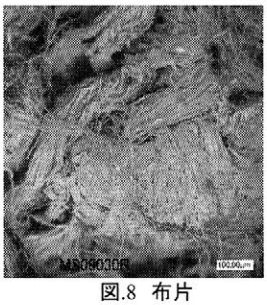


図.8 布片

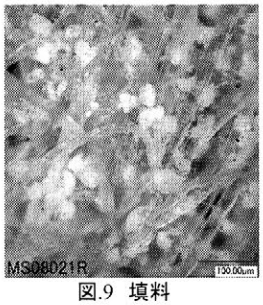


図.9 填料

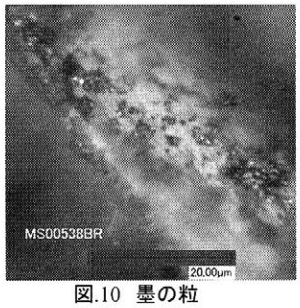


図.10 墨の粒

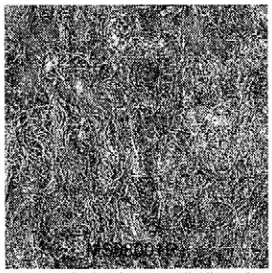


図.11 料紙表面の繊維配向

図.12 簀の目模様

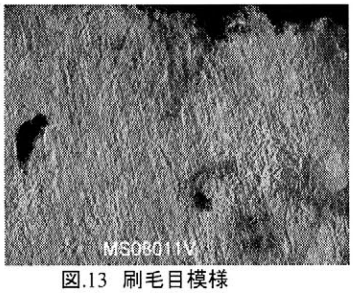


図.13 刷毛目模様

図.14 上部の穴

3. まとめ

4 世紀頃に書かれたとみられる楼蘭出土文書を分析した結果、これらの料紙には大麻や苧麻そしてボロ布の他にも桑、稲藁、絹などの繊維の使用が確認できた。おそらくは中央アジアの砂漠のオアシスでは原材料が不足し、これに伴ってボロ布を使用したり、様々な補助原料を使用する試みがなされていたようである。溜め漉きで、麻繊維のボロ布が原料として使用されている点は古来の紙漉きの形態を残しているが、滲み止めの処理に関してはかなり進歩していたようである。今回の分析結果は、スヴェン・ヘディンやオーレル・スタインらが発掘した楼蘭出土文書を分析した増田[3]や Anna[4]の報告の内容と共通する点が非常に多く、これらの文書と李柏文書の関係についても大変興味深い。

参考文献

[1] 池田和彦: 李柏文書の修理, 日本の美術, No.480, 2006
[2] 藤枝晃: 李柏文書, 仏教東漸, 1991
[3] 増田勝彦: 楼蘭文書—残紙に関する調査報告, スウェン・ヘディン 楼蘭發現 残紙・木牘, 日本書道教育会議 編, 1988
[4] Anna-Grethe Rischel: 楼蘭古紙の科学的分析, 流沙出土の文字資料—楼蘭・尼雅出土文書を中心に, 冨谷至, 京都大学学術出版会, 2001

大阪府八尾市大竹西遺跡出土鉄剣の埋蔵環境と腐食

○三ツ井誠一郎（日本原子力研究開発機構），藤井淳弘（八尾市教育委員会），
樋口めぐみ（八尾市立歴史民俗資料館），西村公助（（財）八尾市文化財調査研究会）

1. はじめに

金属材料の腐食は、材料と環境との化学的相互作用により進行する現象であり、材料の特性と環境条件に支配されている。考古学的調査により、様々な遺存状態の鉄製や銅製の遺物が出土しているが、これも材料の特性と環境条件の結果である。一般に、鉄製遺物は表面が厚い腐食生成物、すなわち「錆」に覆われており、原形を留めていないことも多いが、稀にほぼ原形のまま出土する遺存状態が良好なものもある。このような遺存状態の違いの要因としては、埋蔵環境における大気の影響の程度、などが考えられるが、考古学的調査において環境条件データが取得されることはほとんどないため、遺存状態の要因を客観的に評価することは困難である。本研究では、直線的な鎬の形状が明瞭に残存するなど、極めて良好な遺存状態で出土した大阪府八尾市大竹西遺跡の鉄剣について、埋蔵環境条件の調査、ならびに鉄剣の腐食に関する分析を行い、遺存状態の要因として埋蔵環境と腐食の関係を検討した。

2. 大竹西遺跡出土鉄剣（八尾市指定文化財）

この鉄剣は、1997 年 1 月に八尾市立屋内プール建設に伴う発掘調査で出土したものであり、発掘調査報告書[1]に詳細が記されている。図 1 に示した通り、鉄剣は地表面下約 3m の弥生時代後期初頭（1 世紀前半）と見られる土坑状遺構から板状木製品に水平に設置された状態で出土し、当初表面は部分的に緑色を呈していた。保存処理に伴うクリーニング後の表面は黒色を呈し、金属光沢のある地金部は認められない。大きさは全長 35.8cm、最大幅 3.6cm、厚さ 0.6cm、重さは 225g であり、短茎式で刃関双孔の特徴を有する。X 線透過及び X 線 CT 分析により鋳造品であることが確認されており、現時点では近畿地方最古の鋳造鉄剣といえる。

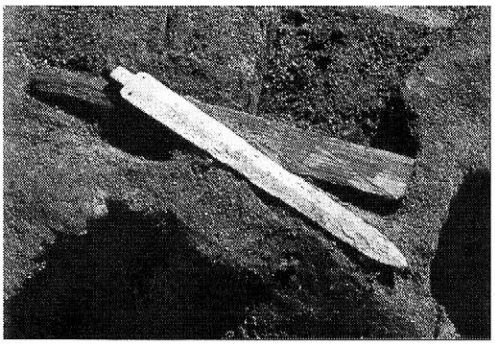


図 1　鉄剣の出土状況[1]

3. 調査・分析項目

環境条件調査として、鉄剣周辺の土質（粒度組成、化学組成等）、湧水水質（酸化還元電位、溶存酸素濃度、pH 等）の分析、プローブ（鉄電極）を用いた各種項目（土壌比抵抗、自然電位、自然腐食速度等）の測定、硫酸還元菌培養試験を 1997 年 2 月に現地で実施した。

鉄剣の腐食状況については、ポータブル X 線回折・蛍光 X 線分析装置（理研計器製 DF-01：以下 XRDF）を用いた鉄剣表面の化学組成、腐食生成物の分析、及び X 線 CT 装置（日立製 HiXCT-6M）を用いた腐食層厚の計測を実施した（図 2）。X 線 CT 分析では、鉄剣の切先から茎の間を 12 分割した断面（スライス厚 0.4mm、画素サイズ 0.2mm）を撮像し、さらに断面を縦、横方向に 4 分画した計 48 領域それぞれにおいて最大の腐食層厚を求めた。この腐食層厚は 48 領域のみから得られたものであるので、極値統計解析により鉄剣表面に存在しうる最大の腐食層厚を推定した。

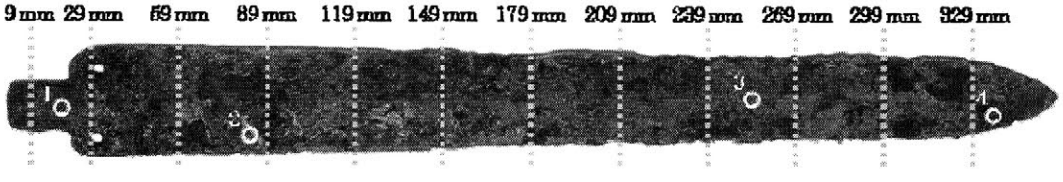


図 2　XRDF 及び X 線 CT 分析箇所（○が XRDF 分析、破線が X 線 CT 分析箇所）

4. 調査・分析結果

土壌の粒度分析によると、土坑内外の土壌はシルト質の砂であり、通気性が悪いものではない。一方、湧水については溶存酸素濃度が約 2ppb と非常に低く、大気と遮断された環境であることを示す。酸化還元電位（Eh）も 0.09～0.1V vs. SHE であり、大気平衡の水と比べて低い。pH は 6.7 でほぼ中性であった。この水質は硫酸還元菌による腐食が起こりやすい条件であるが、簡易培養試験では採取後 5 日目まで反応がなく、硫酸還元菌は検出されなかった。

プローブ測定によって測定した土壌比抵抗は 6000Ω・cm であり、腐食への影響は小さい。自然電位は-0.7V vs. CSE で腐食への影響がやや大きい値であった。自然腐食速度は 5.2×10^{-2}mm/y であり、土壌中の腐食速度としては平均的な値であった。

XRDF 分析による鉄剣表面の分析では、腐食生成物として菱鉄鉱（$FeCO_3$）及び針鉄鉱（α-FeOOH）が検出された。図 3 は、X 線 CT 分析によって得られた CT 像の一例（下端から 29mm の箇所）を密度分布図とともに示したものである。図 3 からは腐食形態が均一腐食であることが分かる。XRDF 分析により菱鉄鉱（ρ=3.96g/cm^3）が検出されているため、密度が 4g/cm^3 の部分を腐食層とし、最大層厚を計測した。計測した 48 領域における最大の腐食層厚は最小値が 0.4mm、最大値が 1.0mm であった。極値統計解析により求めた鉄剣表面に存在しうる最大の腐食層厚は 1.4±0.1mm であった。

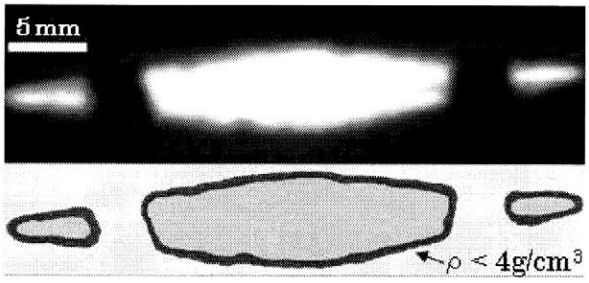


図 3　X 線 CT 像（上）と密度分布（下）
（密度 4g/cm^3 未満の部分を腐食層とした。）
※密度換算には基準物質（炭素鋼：SS400）の CT 値を用いた。

5. 考察

水質データをもとに作成した電位-pH 図によると、本遺跡の湧水水質（測定値）における安定相は赤鉄鉱（Fe_2O_3）であり、鉄剣表面に検出された菱鉄鉱の安定領域より 0.2V 程度 Eh が高い（図 4）。このことは、測定した Eh が大気の影響を受けていることを示唆し、湧出部で鉄の水酸化物（$Fe(OH)_3$）と見られる黄褐色の沈殿が観察されたこと、湧水水質が $Fe^{2+}/Fe(OH)_3$ 平衡線（破線）近傍であることもこれを支持する。恐らく、鉄剣は菱鉄鉱が安定相として存在しうる地下水環境に長期間埋蔵されていたものと考えられる。

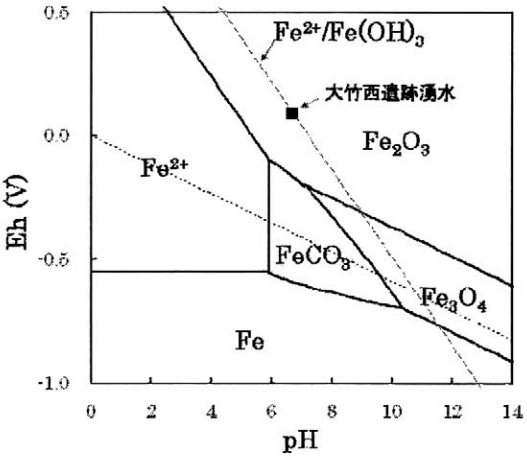


図 4　電位-pH 図と安定相

極値統計解析により推定した最大腐食層厚は 1.4±0.1mm であり、埋蔵期間を 2000 年とした場合、最大腐食速度は$(7.0\pm0.5)\times10^{-4}$mm/y となる。この値は自然腐食速度 5.2×10^{-2}mm/y に比べて 2 桁程度低い。自然腐食速度は、腐食層がない鉄電極の腐食速度であることから、鉄剣表面に形成した菱鉄鉱が腐食反応を抑制し、長期的な腐食速度を低下させていた可能性がある。実験的研究[2]においても、鉄試料表面に緻密な腐食層が形成した場合、経時的に腐食速度が低下することが報告されている。

以上のことから、今回調査した鉄剣は大気と遮断された還元的な環境に埋蔵され、表面に形成した菱鉄鉱が腐食反応を抑制したことにより良好な遺存状態を維持したと結論付けられる。

1)（財）八尾市文化財調査研究会：大竹西遺跡第 3 次調査—八尾市立屋内プール建設に伴う発掘調査報告—、（財）八尾市文化財調査研究会報告 106 (2008).
2)谷口直樹、川崎学、内藤守正：緩衝材中における炭素鋼の腐食挙動の実験的検討-II—10 年間浸漬試料の腐食生成物分析結果—、JAEA-Research 2008-108 (2008).

日本出土イノシシ類頭蓋の多様性とその解釈

○富岡　直人（岡山理科大学　総合情報学部　生物地球システム学科）

要旨

東アジアには野生種・家畜種あわせて多くのイノシシ類が分布し、日本のニホンイノシシと伝統的ブタはそれらに系統的関連を持っている。本発表では、日本列島域からの資料を中心に集成し、その頭蓋形態の多様性を指摘する。また、その多様性に環境変動（気候変動・火山活動）と人為的影響（domestication）が影響を与えてきた可能性を指摘する。

1. 資料の特徴

完新世初頭以降、ニホンイノシシ *Sus scrofa leucomystax* は日本に広く分布していたことが考古資料から推定され、その分布範囲は現在の生息域を越えている。

日本語でのブタという用語は *S. scrofa domesticus* の標準和名も兼ね、概念的に家畜個体を指すが、東南アジアでは人間が持ち込んだブタが再野生化して繁殖し、人々が狩りをすることがあり、その輪郭は実は曖昧である。つまり、一見野生イノシシであっても、家畜化の影響を受けている可能性は看過できないといえる。家畜化にともない顔面の退縮や四肢の変形などを生じる場合があるが、家畜化の程度が軽微な場合、ブタを骨格で認定することは難しい。このため、世界各地のみならず日本でもイノシシの家畜化について論争が続いている（加藤 1980、小沢 2000、姉崎 2003、金子 2004、富岡 2007 他）。

2. 考察

東アジア産イノシシ類頭蓋は形態に多様性があり、微細な点を過大に評価してしまうと、分類基準が多出してしまう。それぞれの形質については、慎重に重みづけを検討する必要性が指摘できる。発表者は大まかに A～D 類に分類しているが、さらに細分するべき点も指摘できる。第 1 図にその時間的空間的分布を図示する。

A 類は、日本に広く分布していた典型的ニホンイノシシと北東～東～東南アジアの野生イノシシでみられる形質で、単純な頭蓋計測値のみによる多変量解析では A1 類、A2 類は近い存在であると推定される。

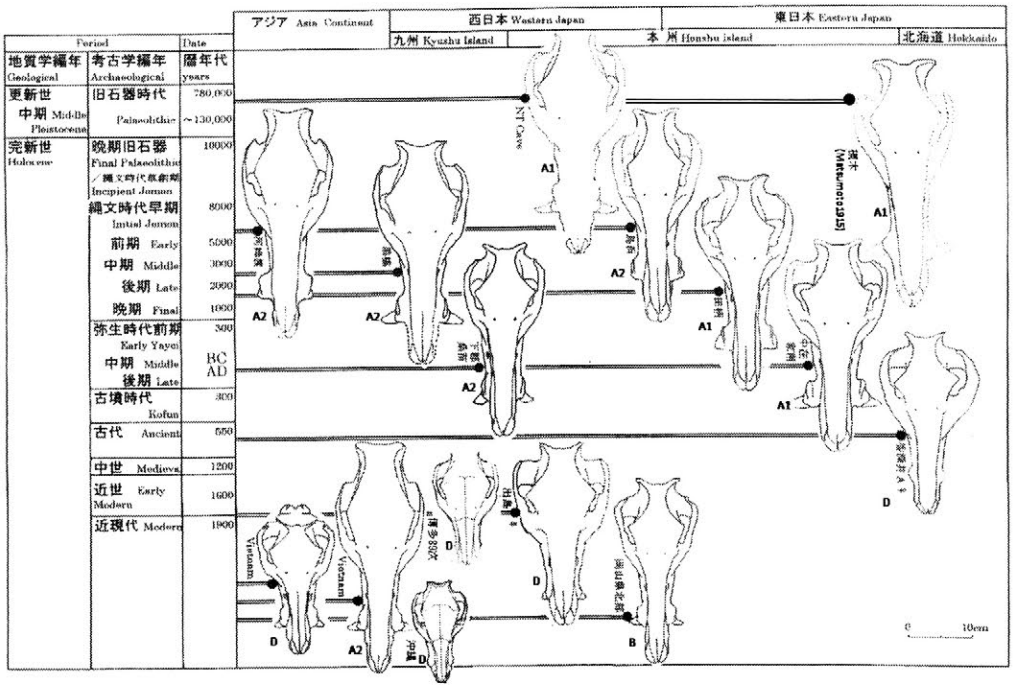
A1 類は、更新世～完新世にみられる大型個体から構成される。これには、松本彦七郎が命名したミコトイノシシやダテイノシシが含まれる。A2 類はやや小さく細身である。この分類群には、「縄文ブタ」「弥生ブタ」とされた鳥浜貝塚出土資料と下郡桑苗遺跡資料が含まれる（西本 1991,93,2002）。下郡資料は顕著に頭頂部が高い点が指摘される。これは加齢でもみられる現象であり、慎重な解釈が必要な形質である。東南アジアのイノシシには A1･A2 類に類似した個体が存在するが、いくつもの点で日本の遺跡出土資料の形質とは異なる点が指摘され、整理の必要性が指摘される。

B 類は、現在西日本に現代みられるやや小型のイノシシ類が属するグループで、現在までの所、遺跡出土の幼齢～若齢の個体がこのグループとなってしまいやすい。現在までの所遺跡出土の老齢個体でこれに属す例はなかった。広くはニホンイノシシに分類されているが、A 類とは系統関係が異なるもの、混血したものである可能性がある。C 類はリュウキュウイノシシが属するグループである。D 類は東南アジアや中国でもみられる南方系小型ブタで、南方に適応した小型イノシシが馴化されたものの系譜をひくと推定され、北方の香深井 A 遺跡資料もこの分類群に入る。リュウキュウイノシシの属する C 類にもやや似ており、数値のみからの判別は難しい。

3. 結論

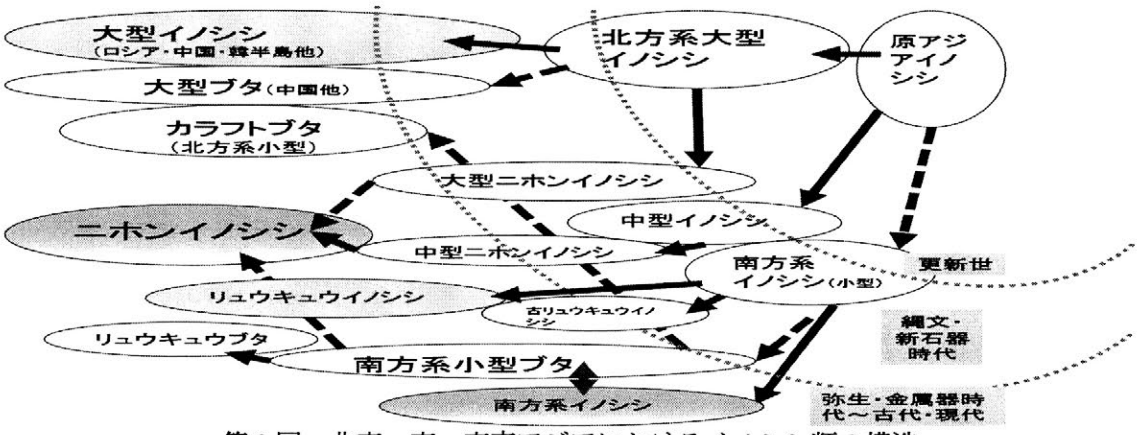
日本・東アジアのイノシシ類グループの関係を、頭蓋形態と環境変動、domestication を念頭に概念的に示すと第 2 図のようになった。これは人類学の日本人二重構造説と類似しているとも捉えられる。

A1 類（大型ニホンイノシシ）が更新世中期までには生息域を拡大していたが、更新世中～後期に海水準変動と南九州などで活発であった火山活動の影響から、A2 類（中型イノシシ・ニホンイノシシ）が西日本に分布を拡大し、さらに後代の飼育ブタの搬入で、B、D 類（中型イノシシ・南方系小型ブタ）が成立し、遺跡からも出土がみられるようになった可能性が指摘される。



第1図　東アジアにおけるイノシシ類頭蓋の多様性　－時間的・空間的分布－

（富岡・屋山 3008 一部改変、香深井 A 遺跡資料は、金子・西本 1987 より作図）



第2図　北東～東～東南アジアにおけるイノシシ類の構造

引用文献

姉崎智子　2003　「Domestication の過程－イノシシをめぐる諸問題－」『メタ・アーケオロジー』4: pp.59-69

小沢智生　2000　「縄文・弥生時代に豚は飼われていたか?」『季刊考古学』73: pp.17-22

金子浩昌　1984　『貝塚の獣骨の知識』［東京美術］

金子浩昌　2004　「考古学研究における動物遺体Ⅰ」『金子浩昌著作目録』2〔刊行する会〕: pp.5-48

金子浩昌・西本豊弘　1987　「日本各地遺跡出土の動物標本について」『貝塚博物館紀要』14: pp.1-28

加藤晋平　1980　「縄文人の動物飼育－とくにイノシシの問題について－」『歴史公論』6-5: pp.45-50

富岡直人　2007　「日本における先史家畜論　－イノシシ・ブタ頭蓋の研究を中心として－」『考古学談叢』［六一書房］: pp.447-466

西本豊弘　1991　「弥生時代のブタについて」『国立歴史民俗博物館研究報告』36:pp.175-189

西本豊弘　1993　「弥生時代のブタの形質について」『国立歴史民俗博物館研究報告』50:pp.49-70

西本豊弘　2001　「家畜の考古学」『NHK スペシャル　日本人はるかな旅 3　海が育てた森の王国』: pp.188-198

西本豊弘　2003　「縄文時代のブタ飼育について」『国立歴史民俗博物館研究報告』108　pp.1-16

富岡直人　2007　「日本における先史家畜論」『考古学談叢』:pp.447-466

富岡直人・屋山洋　2009　「人と動物のかかわりを博多遺跡群に探る」『市史研究ふくおか』3: pp.8-27

Matsumoto, H.　1915 'On Some Fossil Mammals from Tsukinoki, Ugo' "Science Rreports of the Tohoku Imperial University 2nd series, Geology" 3(1): pp.39-4

新時代を迎えた大型古墳測量

○西藤清秀（奈良県立橿原考古学研究所）・藤井紀綱（アジア航測株式会社）

I. はじめに

日本の考古学における航空機の利用は 1954 年、末永雅雄が実施した空中からの古墳の観察に始まる。この作業は墳形、濠、周堤などの理解を助け、古墳の周囲に広がる周庭帯という概念を生み出した（末永 1961）。それ以後、空中からの古墳の観察は古墳の総合的な研究にとって有効な手段となった。

古墳の立地や墳丘に関わる情報入手において最も有効な手段は測量である。しかし古墳の規模が大きくなればなるほどそれらの情報は少なく、特に 150m 以上の大型古墳の場合、それらの多くは宮内庁の所管であり、墳丘規模順位上位 50 基の内、半数以上の 27 基の古墳が宮内庁に所管され、墳丘規模順位上位 25 基では 18 基が宮内庁の所管である。これらの宮内庁所管の古墳の測量図はほとんど戦前に作成され、現在の古墳研究の水準を十分満たしてはいない。

近年、宮内庁は波浪などによって損傷を受けた墳丘の崩落防護工事の事前発掘調査に先立ち、古墳の測量図の作成をおこなっている。その中で、今回の発表では宮内庁所管の御廟山古墳において従来の計測法と新たな航空レーザ計測法との比較と同じく宮内庁所管のコナベ古墳での新たな計測法の妥当性と、この手法が今後、大型古墳の墳丘情報の入手に新たな展開をもたらすことを言及する。

II. 航空レーザ計測の古墳への応用

航空レーザ計測とは、ヘリコプターなど小型の航空機に搭載したレーザ計測システムから発射されるレーザ光により、地表面を高密度かつ高精度で計測する技術である。レーザ光は樹木の葉の隙間から地盤に到達し、地形を計測するため、現地に立ち入ることなく、安全かつ迅速に作業を遂行することができる。レーザ計測システムにより収集した点群データは、樹木等を除去するフィルタリング処理をおこない、地盤だけのデータとする。点群データは、赤色立体地図に加工することで、初めて地形形状がより判読し易い画像となる。レーザ計測による赤色立体地図は、青木ヶ原樹海の新火口を発見した技術であり、地形表現には必須である。また、簡易なオルソフォトが短時間で作成できるため、現地の状況がよりわかりやすくなる。レーザ計測データは、等高線図や断面図、任意の視点からの鳥瞰図の作成や樹高の測定が容易なことから、現地への立ち入り困難な古墳の計測に最適な手段である。

III. 堺市御廟山古墳の例　（図１）

御廟山古墳は、大阪府堺市北区百舌鳥本町に所在し、墳丘部は百舌鳥陵墓参考地として宮内庁に管理されている。この古墳は、前方部を西に向けた前方後円墳であり、百舌鳥古墳群の一部を構成している。その規模は本古墳群内で 4 番目に相当する。

2008 年には宮内庁と堺市により墳丘と濠の一部の調査が実施された（徳田他 2010）・（堺市 2008）。この調査により御廟山古墳が 5 世紀中ごろに築造され、墳丘の規模が全長約 200m であることが判明した。またこの古墳は 3 段築成であり、南側くびれ部には造り出しがある。墳丘各段の斜面には葺石が、平坦部には埴輪が巡らされ、墳丘の周囲には濠が 2 重に設けられている。墳丘は、「御廟山古墳発掘調査現地見学会資料」(2008)によれば、全長約 186m、後円部径約 96m、同高約 18.3m、前方部幅約 119m、同高約 17.8m→墳丘長 200m、後円部径 110mに迫る。御廟山古墳の現状は 2008 年の調査時に、墳丘裾部付近の樹木が伐採され、濠外側から一部墳丘裾の地表面を確認できるが、大部分は鬱蒼とした木々に覆われた状態である。

今回の空中からの航空レーザ計測は、2010 年 2 月古墳上高度 500m を「井」字状に 4 測線方向からヘリコプターにより計測した。ヘリコプターは時速 70ｋｍで飛行し、レーザ光を 18 万発/秒で照射することで 1m×1m に平均 30 点以上計測する設定で地表面データを取得した。

2008 年の宮内庁と堺市の調査では各土地の所管に従って、宮内庁が墳丘を、堺市が濠から外側の測量を実施した。それゆえ、3 次元計測からの測量図と宮内庁と堺市が実施した図を比較した。この比較では後円部および前方部の最高点の誤差も数 cm で、平面の形状比較ではほとんど差異がなく、綺麗に重なりが認められる。しかし、大きな差異は 3 次元計測図の墳丘 2 段目に認められる墳丘に直行するような細長い高まりである。この高まりは実際に存在するが、これは墳丘に付随する土や石材での施設ではなく、墳丘内の樹木を伐採した際に、処理木が集積された箇所である。これは 3 次元計測図が正

確に墳丘表面の情報を入手し、表現できることを証明している。このように3次元計測による墳丘情報は、現地でアナログ的な手法で得られた墳丘情報と遜色ないことが確認できた。

IV. 奈良市コナベ古墳　（図２）

コナベ古墳は、奈良県奈良市法華寺町に所在し、小那辺陵墓参考地として宮内庁に管理されている。この古墳は前方部を南に向けた前方後円墳であり、佐紀盾列古墳群の一部を構成している。この古墳には濠が巡り、その外側には堤に沿って陪塚が築造されている。2009年秋に墳丘裾護岸工事の事前調査が実施され、埴輪列、葺石が確認された。コナベ古墳は5世紀前半に築造され、墳丘は3段に築成され、東西のくびれ部には造り出しが設けられている。昨秋の西造り出し部の調査では柵形埴輪、蓋形埴輪、家形埴輪等の形象埴輪が検出されている。墳丘の規模は、全長約204m、後円部径約125m、高さ約20m、前方部幅約129m、高さ約17.5mである。[i]

この古墳の護岸工事の事前調査に際して濠の水が一部抜かれ、水位が下げられたために墳丘裾部が明瞭になり、3次元計測にとっては墳丘情報を入手する機会であると考え、計測を計画した。しかしコナベ古墳の現状は、墳丘上に樹木が繁茂し、鬱蒼とした木々に覆われた状態であった。

空中からの航空レーザ計測は、2009年12月古墳上高度650mから、ヘリコプターにより時速70kmで「井」字状に４方向から、12万発/秒で照射し、1m×1mに平均10点以上のデータを取得した。

その結果、予想以上のコナベ古墳の墳丘および周辺の情報が入手できた。3次元計測は、墳丘情報として後円部墳頂の小さな高まり、後円部墳頂への参詣道、西造り出しの方形の高まり、古墳周辺情報としてコナベ古墳を取り囲むように段丘上に立地する陪塚等を新たなコナベ古墳像として提供してくれた。

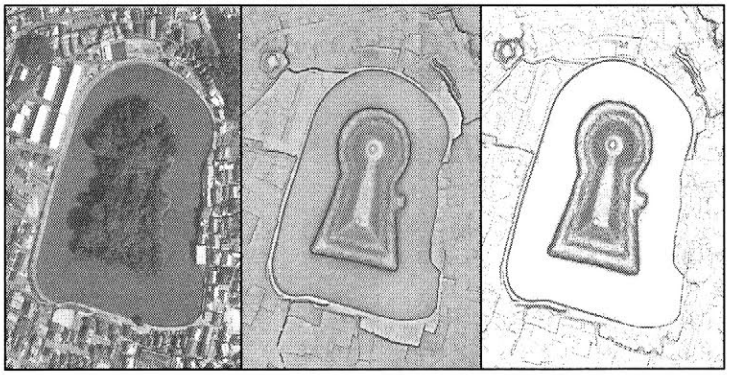


図１御廟山古墳空中写真・御廟山赤色立体地図・御廟山古墳等高線図

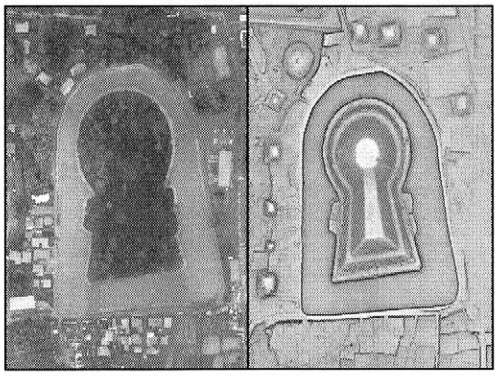


図２コナベ古墳空中写真・コナベ古墳赤色立体地図

V. まとめ

考古学において測量による地形情報は、極めて重要であり、特に古墳において立地、墳形、尺度の研究には不可欠である。しかし大型古墳の測量は、容易ではなく、精緻な測量図の作成には多くの制約がある。特に現在陵墓として宮内庁に所管される古墳測量図の大部分は戦前に作成され、その精度は現在の考古学研究者を満足させるものではない。

今回の御廟山古墳やコナベ古墳の空中からの3次元計測は、古墳に立ち入ることなく、また障害となる古墳上の植生を気にすることなく、古墳を計測できることが宮内庁と堺市が実施した御廟山古墳のアナログ測量との比較により確認できた。今後、この計測法は立ち入り困難な大型古墳の精緻な墳丘・周辺地形情報を提供し、学術的・社会教育的な活用への道を開くと考えられる。その中でこの計測法は、前方後円墳の「造形美」を際立たせ、前方後円墳築造に立体的な造形への意識が強く関わっていることを印象付けさせる最適な表現法である。さらにこの計測法は広範囲での微細地形や遺構の検討、また古墳の植生情報の提供にも役立つと考える。

参考文献

堺市市長公室文化部文化財課 2008 『御廟山古墳発掘調査現地見学会資料』
末永雅雄　1961『日本の古墳』朝日新聞社
徳田誠志・清喜裕二・加藤一郎　2010「百舌鳥陵墓参考地　墳丘裾護岸その他整備工事に伴う事前調査」『書陵部紀要』第61号〔陵墓篇〕pp.36-91 宮内庁書陵部

[i] 2009年12月5日付各新聞社朝刊掲載

モンゴル国文化遺産のデジタルドキュメンテーションに関する研究

○山口欧志・清水奈都紀（同志社大学文化遺産情報科学研究センター）

1.はじめに

モンゴル国には，人類史を代表する文化遺産が多数存在する。それら文化遺産は，旧石器時代から現代に至るまでのものがあり，内容は，石碑や石人，あるいは壁画，寺院，また半ば地中に埋もれた城郭遺跡や墓地など，多岐にわたる。

本研究は，こうしたモンゴル国の文化遺産に関する様々な情報をデジタルデータとして記録し，研究・保存・教育そして観光資源として役立てようとするものである。

2.モンゴル国の文化遺産

モンゴル国の文化遺産に関わる様々な活動は，同国の文化遺産保護法の下，法制化されている。この保護法は文化遺産を無形と有形に分類している。本研究では，このうち有形の文化遺産を扱っている。

有形の指定文化遺産には，不動のものと可動のものがある。不動のものには，寺院・仏塔・岩壁画・鹿石・石人・石碑・城郭都市遺跡などがあり，それぞれ国指定・県・首都指定・郡指定のものに分類される。また可動のものには，考古遺物・仏像・タンカ・アップリケ・宗教的儀礼に用いる装身具・絵画・歴史的偉人の所有物などがあり，これらは“類い希なる価値を有する記念物”（日本の国宝相当）・“価値を有する記念物”（重要文化財相当）・“一般文化遺産”に分類される（図１）。

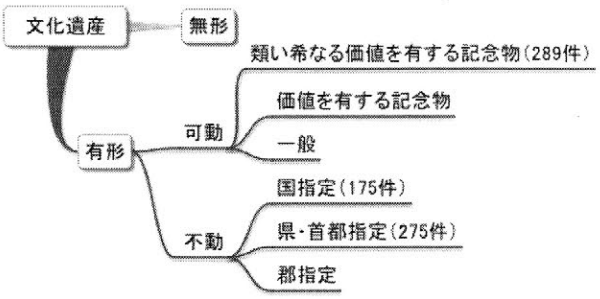


図１　モンゴル国文化遺産の分類と数

図２　アイマグ（県）別の指定不動文化遺産数

不動文化遺産は，図２に示すようにモンゴル国各地に存在する。不動文化遺産は屋外にあるものが大多数を占める。しかし，それらの多くは，年中風雪雷雨にさらされているため，劣化が進行しているものが多数見受けられる。特に近年の環境悪化により，甚大な被害が生じている。そのため，早急なデジタルドキュメンテーションとその情報を活かした保護活動が必要とされている。

また，モンゴル国の可動文化遺産のうち，国宝相当のものは，仏教関係の物品が全体の８割近くを占める。特に，銅造鍍金の仏像やタンカ，アップリケが多く登録されている。タンカとは，チベット仏教文化圏で作られる，布に描かれた宗教画である。またアップリケとは，布地をキャンパスとして，著名な活仏や菩薩などをモチーフに製作されたものである。

3.文化遺産のデジタルドキュメンテーションの方法と活用

本研究は，①文化遺産のデジタルドキュメンテーション，②ドキュメンテーション技術の開発と技術伝達，③成果の共有と一般社会への発信を目的としている。

①のねらいは，文化遺産の研究資料化，および保存・保護や修復への活用を目的としたデジタルデータの蓄積である。

デジタルドキュメンテーションの方法は，上記の目的と対象の特性に応じたものでなければならない。そのため，３次元レーザー計測，デジタル写真測量，位置情報の取得，色計測など様々な方法を用いている。利用機材の一部は表１のとおりである。

次に②ドキュメンテーション技術の開発と技術伝達のねらいは，モンゴル国特有の自然・社会環境に応じた計測手法の開発である。また現状では直ちに実施することは困難ではあるが，将来的にはモンゴル国の地方に在住する研究者が日常的に利用できるような技術・手法の開発と伝達にある。

図３　モンゴル帝国時代の石人

そして③成果の共有と一般社会への発信は，GIS による文化遺産デジタル情報の情報管理と関連機関間の共有，そして情報技術を利用した一般への公開を意味する。その具体例には，博物館，あるいは遺跡など実際の歴史空間を舞台としたドキュメンテーション情報の活用が挙げられ，研究・教育・観光など多方面での活用を目的とする。

表１　用いる機材の一例と用途

機材の種類	用途
中・長距離レーザースキャナ(Leica ScanStation 2)	建造物や周辺景観の計測
短距離レーザースキャナ(コニカミノルタ Vivid910)	中型の仏像・石人・石碑の計測
箱型レーザースキャナ(Roland Picaza)	小型の文化遺産の計測
デジタル写真測量機器(Canon EOS 5D Mark II)	岩壁画・仏像・石人などの計測
マイクロスコープ(キーエンス VHX-1000)	摩耗した碑文の計測

4.課題と展望

本論では，モンゴル国文化遺産の現状と，デジタルドキュメンテーションおよび活用に関する方法の概略を提示した。すでに実際の計測作業も進めているが，着手したばかりであり，モンゴルの人々と議論しつつ実践を繰り返してドキュメンテーションから活用までを一連のシステムとして構築する必要がある。

なおこの研究活動は，同志社大学文化遺産情報科学研究センターとモンゴル国文化遺産センターの共同プロジェクトである。またこの調査は『データ科学の新領域の開拓（文化財データ解析)』（代表：村上征勝）の成果の一部である。

タイ北部に所在する仏塔の常時微動調査
－地震対策の有効性の評価指針として－

○中村　豊(㈱SDR、東京工業大学)、原本　知実、二神　葉子(東京文化財研究所)

1.　はじめに

タイ北部には多くの、中には長さ300kmを超す活断層があり、伝承や古文書の記録、現存する文化財にも地震被害の痕跡が認められる。チェンセーンの高台にある煉瓦造の仏塔チョームキティパゴダは、15世紀の創建以降長年にわたり仏塔本体が傾斜沈下し地震の影響が示唆されている。また、チェンマイのステープ山頂にあるドイステープ寺院では、建造物自体の地震被害に加え北側斜面の地滑りが懸念され、対策が施されつつある。今回、両仏塔周辺の地盤の常時微動を調査した。常時微動はいつでもどこでも計測できる非常に微細な振動で、その発生要因は、自然界の営み（風雨、波浪など）や人間の社会活動（道路、鉄道、工場など）に求められる。対象を破壊することなく簡単に調査できる常時微動調査の特性を活かし、文化財の耐震性評価に適用して良い結果を得たので報告する。

2.　微動の測定方法と分析方法

表層地盤内でS波が重複反射して生じる堆積地盤の地震動増幅特性（固有振動数、増幅倍率など）をH/V法を用いて推定する。具体的な計測方法や解析方法は以下のとおりである。

計測方法：各測定点毎に1回40.96秒の微動測定を3回行う。

解析方法：各測定毎に、各方向成分の周波数分析を行い、水平と上下のスペクトル比H/Vを算定する。原則として3回の測定に対して算定された各方向スペクトルおよびH/Vスペクトル比を平均して、各測点の計測量とする。これから卓越振動数Fと増幅倍率Aを推定し、基盤のS波速度V_bを600m/sと仮定して、(1)式から基盤までの深さhを推定し、(2)式によって表層地盤の壊れやすさ指数Kgを算定した。

$$h = V_b/(4AF) \quad (1)$$

$$K_g = A^2/F \quad (2)$$

3.　測定箇所

チョームキティパゴダでは、図1(a)に示すように、仏塔を中心に域内および仏塔基壇内の29箇所ならびに域外の地盤上の1箇所、合計30箇所で微動を計測した。仏塔が傾斜している方向や域内の一部が崩壊したことを念頭において計測点を配置した。

ドイステープ寺院では、図1(b)に示すように、地盤改良工事を実施している部分を中心に、縦横に計測点を配置した。仏塔域内で4箇所、地盤改良工事区域内で5箇所、その周辺で6箇所の合計15箇所で常時微動を計測した。図2に両地点のY方向のH/Vスペクトル比を例示する。

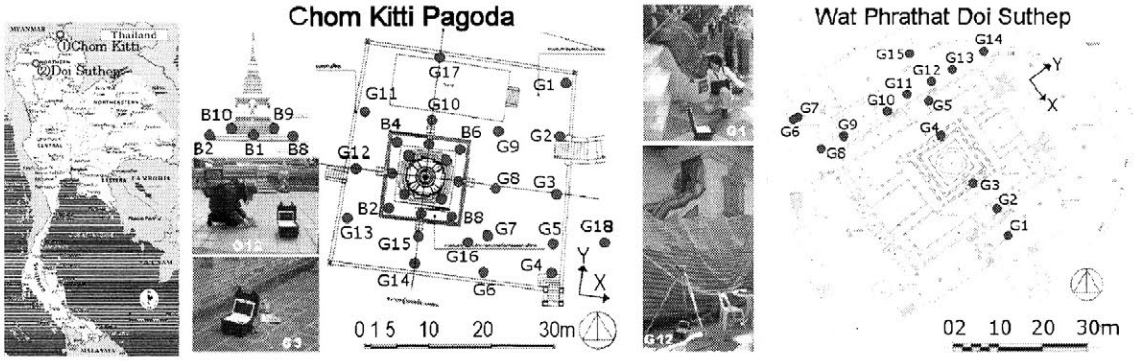


図1　測定箇所と状況：(a)チョームキティパゴダ(CK)　(b)ドイステープ寺院（DS)

4.　測定結果と分析

(1) チョームキティパゴダ

G3については、付近を人が通ると異常に大きな上下動が計測され、付近のコンクリート被覆と地盤の間に空隙が生じているものと推測される。

H/Vスペクトル比から卓越振動数と増幅倍率を読み取り、これらからKg値ならびに堆積層厚を推定した。図3左に、計測されたKg値を、仏塔を中心に図示した。H/Vスペクトル比を見ると、卓越振動

数は概ね2.5Hz～2.8Hzで一定しているのに対して、増幅倍率は3倍～15倍と場所により大きく変動している。これに伴い、堆積層厚の推定結果も場所により変動しているが、仏塔が傾斜している側の角部周辺で浅くなっていた。コンクリートで被覆されていることもあり、地表面の水平方向の地震動は場所によって大きく変わらないと考えられる。したがって、堆積地盤に生じるせん断歪みは堆積層厚が薄いところで大きくなると推測され、Kg値は仏塔が傾斜している方向の角部周辺から南の部分で大きくなっている。45（10^{-6}/Gal）以上と大きなKg値であり、概ね20Gal以上（ほぼ震度4以上に対応）の地震動で何らかの地盤変状が生じると考えられる。

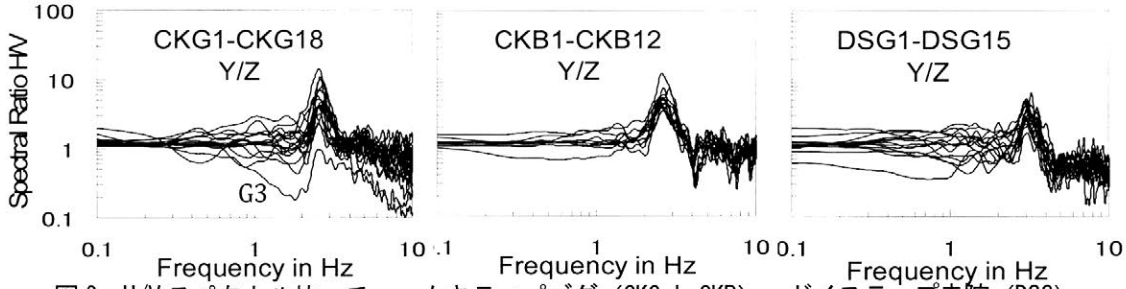


図2　H/Vスペクトル比：チョームキティパゴダ（CKGとCKB）、ドイステープ寺院（DSG）

(2) ドイステープ寺院

H/Vスペクトル比からピーク振動と増幅倍率を読み取り、Kg値と基盤までの深さ（堆積層厚）を推定した。図3右にはKg値を、仏塔を中心に各測点に対応させて示した。H/Vスペクトル比をみると、卓越振動数は概ね3Hzで、増幅倍率も3～6.5倍で変動は小さい。堆積層厚が小さいところやKg値が大きいところは、地盤改良をしているところと一致しており、地滑りの危険性が高いと判断している場所と一致していることになる。ただし、Kg値は概ね9程度以下と小さく、地盤変状は100Gal（震度5以上に対応）をかなり上回る地震動で生じると推測される。

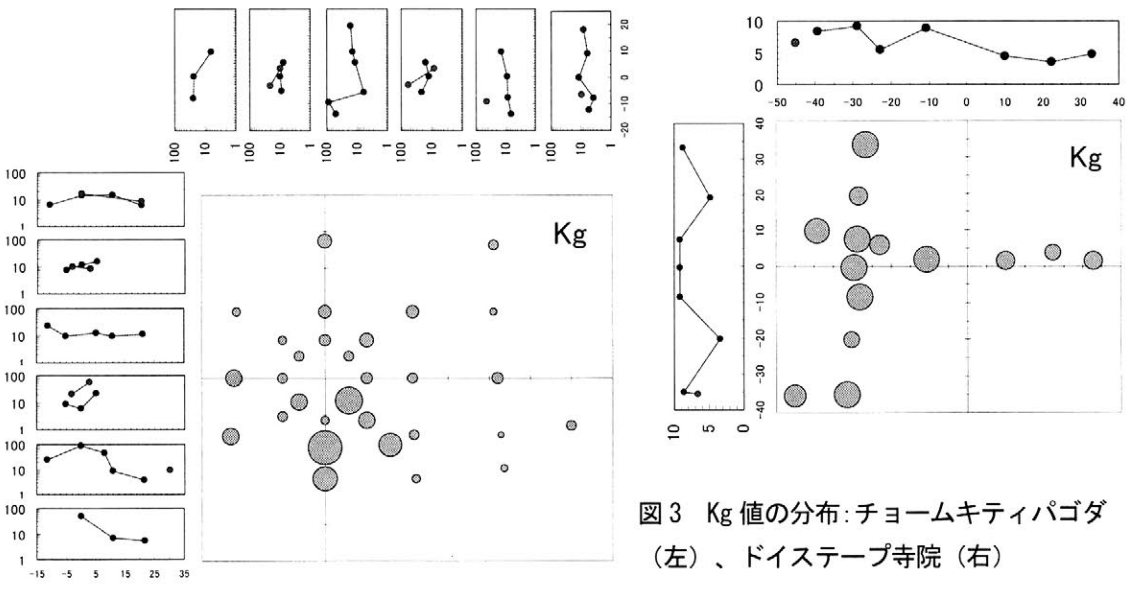


図3　Kg値の分布：チョームキティパゴダ（左）、ドイステープ寺院（右）

5.　おわりに

以上、常時微動調査によって文化財の周辺地盤の耐震性が的確に把握でき、具体的な地震対策の策定や評価が可能になることが確認された。今後は、さらに文化財そのものについて常時微動調査を用いて的確に耐震評価を行う手法の確立を図りたい。

謝辞：本研究は、文化庁委託「被災文化財復旧に係る調査」の一環として実施された。測定にあたっては、タイ文化省芸術局のSudchai Phansuwan土木技師、Manatchaya Wajvisoot建築士の協力と支援を受けました。記して謝意を表します。

参考文献: Nakamura, Y.: Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, Proceeding of 12th World Conference on Earthquake Engineering, #1256, 2000.

池島・福万寺遺跡にみる農耕と災害の関係史

○木村　栄美（総合地球環境学研究所），
宇田津　徹朗（宮崎大学附属農業博物館）・松田　隆二（㈱古環境研究所）
北川　淳子（国際日本文化研究センター）・藤井　伸二（人間環境大学）
大庭　重信（大阪文化財研究所）・井上　智博（大阪府文化財センター）
田中　克典（総合地球環境学研究所）・佐藤　洋一郎（総合地球環境学研究所）

＜発表概要＞

大阪府の八尾市と東大阪市にまたがる池島・福万寺遺跡は、弥生時代前期から近世までという長い時間的スケールの中で、大規模な水田遺構が良好な状態で残っていることが知られている。それればかりでなく時代変遷における環境変化の中で、度重なる災害、特に洪水とそれに対してどのように人々が向き合い、農業を再生してきたのか、という環境と農耕との相互作用を知る上で重要な位置づけにある。この観点に基づき、大阪府文化財センターと総合地球環境学研究所との共同調査により、当地における農耕の変遷と環境との関係性について、文化史、考古学、自然科学の分析による統合的な成果がえられた。そこで本大会では、池島・福万寺遺跡のうち 05-1 地区と 07-1-2 地区において、古代から中世における水田遺構からの調査結果を中心に稲作の変遷について発表する。

当地区の遺構調査により 11 世紀後半に新たな水路が掘削されて水利系統が整備され、14 世紀まで踏襲されている溝が検出されている (図 1)。水利系統の整備が行われていた点についてはまだ十分な資料調査を行っていないが、この時期の背景としては摂関政治から院政、鎌倉幕府による政権の変遷にあたり、おそらく公家政権と荘園公領制との相互関連の影響がこの池島・福万寺遺跡の水利系統の整備と関連があるものと推測される。また、12 世紀後半から 14 世紀前半は鎌倉幕府から南北朝を経て室町幕府へという政権交代の時期で、荘園と集落形成の確立との関連性が新たな水利系統の整備へ繋がるものと推測される。このことから、池島・福万寺遺跡には、摂関家の所領で平等院に寄進された玉串荘の遺構も窺えることから、遺跡周辺で利用されていた作物について中世における荘園制が影響している可能性がある。そこで、この時代の地層について分析を行った結果、現代におけるジャポニカの温帯型と熱帯型に相当するイネのプラントオパールが検出された (図 2)。熱帯型は乾燥と多湿が不良な環境下でもある程度の収量を確保することができる。おそらく、荘園制の確立により課せられる納税に対して、熱帯型と温帯型を用いることにより、環境変化に対しても一定の収穫量が得られるよう対応していたと推測される。また、時代経過に伴い温帯型が高い頻度で検出されるが、荘園制、土地の改良、品種の改良により利用されるイネが変動していたと考えられる。一方、プラントオパールと土壌の比重から耕作年数を推定すると、12 世紀後半以降において、時期に対して耕作期間が短い地層がある。この地層からはイネ以外にオオムギ、コムギの種実、アブラナ、ソバの花粉が出土している。土壌から寄生虫卵が検出されていることからすると、人糞などの肥料を投入しながら畠作を営んでいたが、休閑も設けられていたと考えられる遺構も窺える。

中世から近世において注目しておきたいのは、土を盛り上げた畠と水田である溝の部分とが一体となった半田あるいは掻き揚げ田（島畠）である。既に、中世と近世とでは島畠の形成方法が異なることが報告されている。中世における島畠の遺構からはソバの花粉が出土しているが、おそらく中世は洪水による土砂の堆積と低湿地帯という土地状況を利用して畠において栽培していたと考えられる。一方、近世の島畠では綿の種子が出土しているが、綿を栽培していたことが大蔵永常の『綿圃要務』からも窺える (図 3)。同時代には多数の井戸遺構が検出されており、近世の池島・福万寺地区を含めた河内一帯は、中世に比べて乾燥が進んだのであろう。人々は環境変化の対応策として、多様なイネを栽培するだけでなく、中世の島畠において様々な作物を栽培するといった利用をしていた。これに対して、近世の島畠においては土地の特質を利用した作物を栽培していたと推測される。

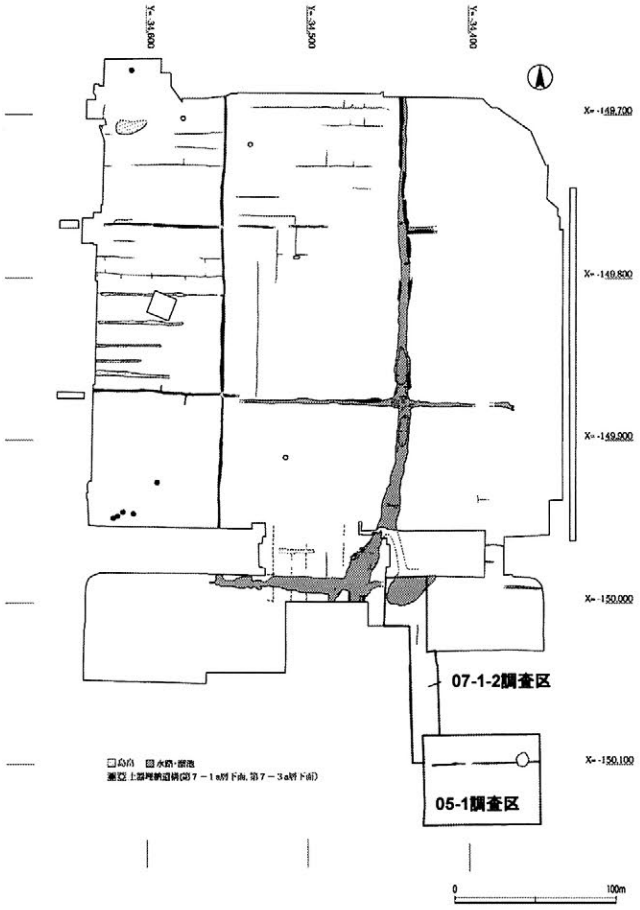


図１　池島・福万寺における調査地区と第 7−1a 層の水利系統

図３　大蔵永常『綿圃要務・その他』
（『日本農書全集』第 15 巻、農文協）

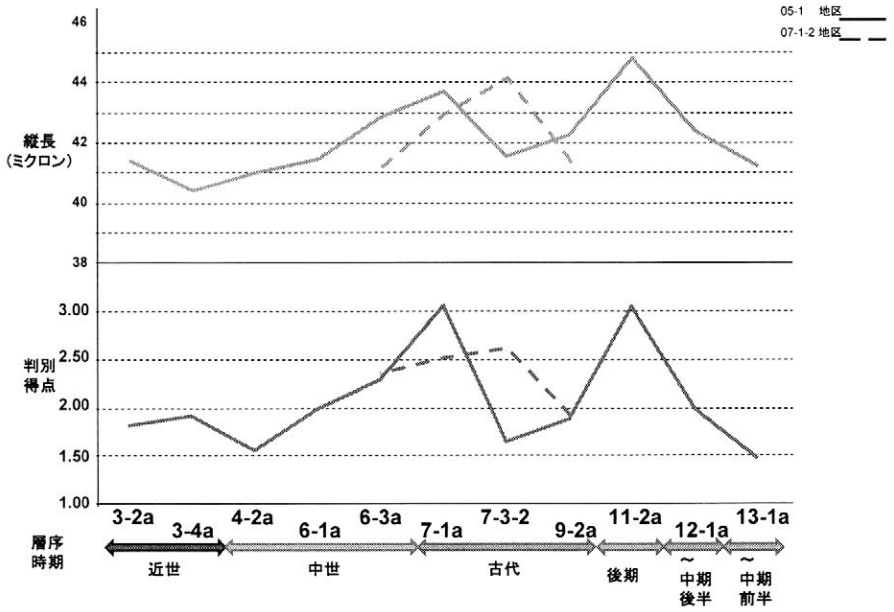


図２　イネ属プラントオパールの縦長と形状に基づく判別得点の変化

フィールドネットワークシステムを構築している土壌水分センサーの土壌，温度，塩類の影響に関する研究

○三石　正一（アイネクス株式会社・東京大学大学院），溝口勝（東京大学大学院農学生命科学研究科）

1. はじめに

遺跡・遺構を展示しながら保存する場合，それら周辺の土壌水分量や気象条件をモニタリングする必要がある[1]．従来，現地の土壌や気象情報を取得するためには土壌水分センサーや気象計とデータロガーを設置する方法が使われてきた．この方法は現地が近ければ定期的に測定サイトを訪れデータの回収や保守管理ができるが，遠隔地の場合は設置して半年後，1年後にデータ回収をする．しかし，遠隔地の場合，測定データをすぐに解析できないことやデータロガーの故障に伴うデータ欠損にすぐに対処できない等のリスクを伴う．これらの欠点を克服するために，溝口教授の研究室がフィールドネットワークシステム（後述）を開発し運用を開始している．このシステムでは土壌水分測定にECH_2Oセンサー（Decagon Devices, Inc.（米））を使用している．ECH_2Oセンサーは土壌水分の比誘電率から土壌水分量を換算する．比誘電率は一般に温度，塩類の影響を受けることが知られており，ECH_2Oセンサーに対してもそうした報告が幾つかある[2) 3) 4)]．しかし，そのほとんどが旧式センサー（商品名：EC-10，EC-20）であり，現在販売している新式のセンサーについての報告は少ない．本報告では，フィールドネットワークシステムの一部分である新型の土壌水分センサー（ECH_2Oセンサー）の土壌，温度，塩類の影響について述べる．

2. フィールドネットワークシステム（Field Network System）

フィールドネットワークシステム（以後FNSと称す）は遠隔地の土壌・気象・現地画像の情報を準リアルタイムでモニタリングするシステムである．FNSの構成はセンサー類，通信部，データ蓄積サーバである．土壌情報はDecagon Devices, Inc.（米），気象情報はDAVIS（米），画像は市販のUSBカメラを使用している．これらのデータをネットワークアダプタ（X-Ability）がフィールドルータ（X-Ability）へ送り，フィールドルータが現地データをサーバへ送信する．

3. 実験

3-1　供試センサーとデータロガー

実験に使用した土壌水分センサーはDecagon Devices, Inc.のEC-5，10HS，5TE，5TMである．データロガーはEm50（同社製）を用いた．

3-2　土壌の影響実験

供試土壌には砂，ローム，黒ボク土を用いた．水分量が異なる供試土壌を容器に均一に充填し，そこに供試センサーを挿入し，実水分量（実測値）と各センサーの測定値を比較した．

3-3　温度の影響実験

供試土壌は砂を用いた．水分量の異なる供試土壌に各センサーを埋設し，プログラム恒温機内に静置した．静置後，各試料を温度-10～50℃で変化させ，温度変化が各センサーの測定値に与える影響を評価した．

3-4　塩の影響実験

0.1，0.2，0.5，1，4，6，8，12，16，23，30 dS/mのNaCl溶液を作成した．溶液中に供試センサーを入れ，センサーの出力値を1分間隔で20分間連続測定した．

4. 結果と考察

ここでは5TEのみの結果を報告する．

4-1　土壌の影響

ロームの実験結果を示す（図 1）．砂試料（未掲載）は実測値と計算値はよく一致したが，ローム，黒ボク（未掲載）では実測値より計算値は低く見積もった．Decagon は土壌水分量の換算式に Topp 式を使用している．Topp 式は砂質土壌では実水分量とよく一致するが火山灰土壌では土壌水分量を低く見積る傾向がある[5]との報告がありそれを裏付ける結果となった．

4-2 温度影響

温度影響の結果を図 2 に示す．温度が-10～50℃まで変化しているが，土壌水分量の変化幅は 5%以内に収まった．同一条件でセンサー自体の温度影響も調べたが，ほとんど変化しなかった（未掲載）．これらの結果から，センサーの温度影響はほとんど無視することができる．

4-3 塩類影響

測定結果を図 3 に示す．5TE は NaCl 溶液の電気伝導が大きくなっても出力値に変化はなかった． 5TE は塩類の影響は小さいと考えられる．

5. まとめ

フィールドネットワークシステムに用いている各種土壌水分センサー（ECH_2O センサー）の土壌，温度，塩類の影響を検証した．その結果，ECH_2O センサーは温度の影響はほとんどないことが明らかになった．塩類の影響は，5TM 以外ほとんどないことがあきらかになった．土壌の影響については，砂はどのセンサーも実水分量と計算値はほぼ一致したが，ロームと黒ボクでは計算値が実水分量を過小評価した．これは Decagon の土壌水分量の計算式が Topp 式を用いているためである．日本の土壌は火山灰土がほとんどなので，測定サイトの正確な土壌水分量を評価する場合には現地の土壌を採取しキャリブレーションによって土壌水分換算式を新たに求める必要がある．

参考文献：1) 三石ら，2007，遺跡学研究第 4 号 2) 鈴木ら，2007，土壌物理学会要旨集，32-33 3) 山中ら，1994，ハイドロロジー，24(1)，31-46 4) Saito et al.，2008，4(6)，Am. J. Environ. Sci.，683-692 5) 宮本輝仁ら，1998，農業土木学会論文集 194（66-2），361-362

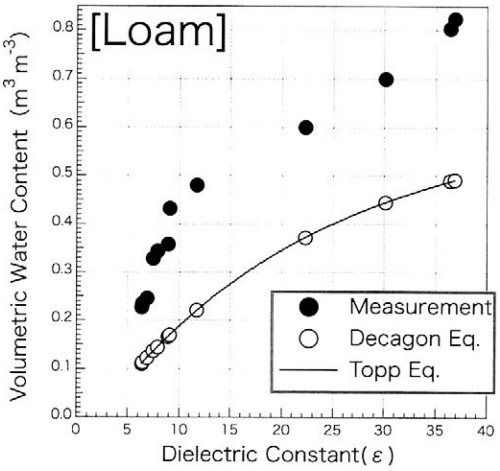


図 1. 実測値と 5TE 計算値の比較

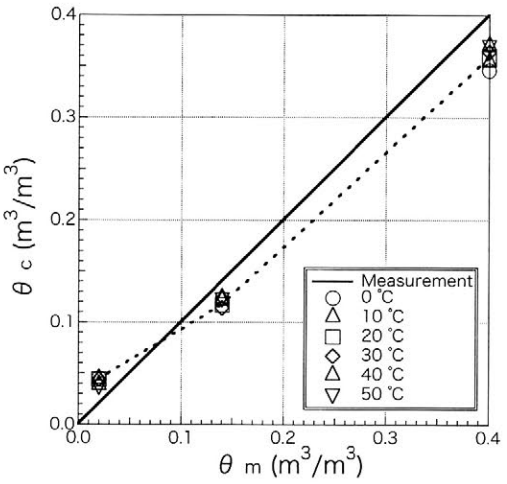


図 2. 実測値（θm）と 5TE の土壌水分換算式（θc）の比較

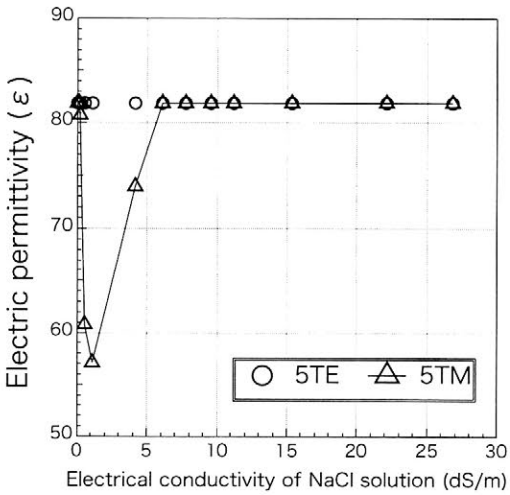


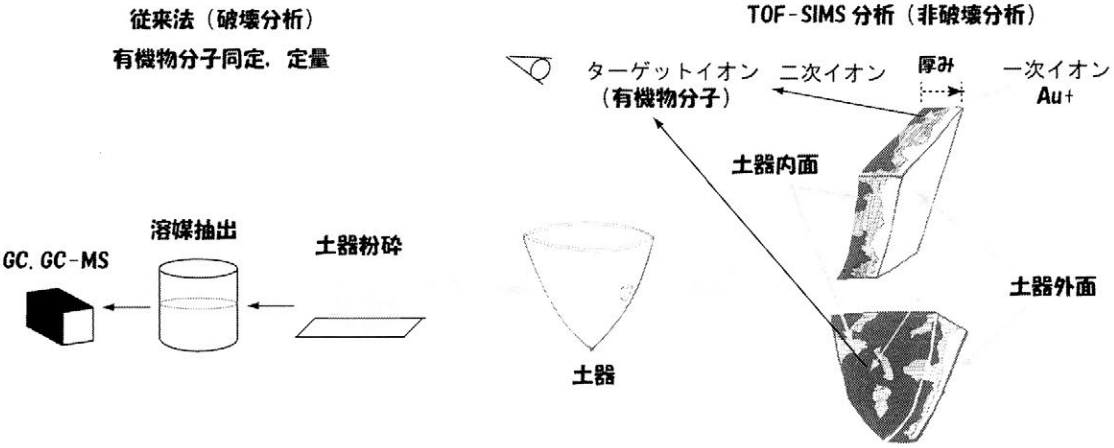
図 3 NaCl 溶液の電気伝導度と 5TE の出力値（誘電率）

飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）を用いた土器による古食性復元

○宮田佳樹[1)], 斎藤香織[2)], 堀内晶子[3)], 南雅代[1)], 上條信彦[4)], 福島和彦[2)], 中村俊夫[1)]
1）名古屋大学年代測定総合研究センター、2）名古屋大学生命農学研究科、
3）国際基督教大学教養学部、4）弘前大学人文学部

本研究の目的は，先史時代の食生活を復元するために，飛行時間型二次イオン質量分析法（Time-of-flight secondary ion mass spectrometry：TOF-SIMS）を用いて，土器に残存する有機物分子を分子レベルで直接同定し（非破壊分析），調理された食材を推定することが可能であるかどうか確認することである．

これまで，海外ではEvershedらのグループが中心になって，土器に残存する有機物組成を用いて，土器で調理された食材の推定が行われてきた．しかし，従来から行われてきた湿式分析法では，土器を粉砕し（破壊分析），土器に残存する有機分子やその分解生成物を有機溶媒などを用いて抽出し，ガスクロマトグラフィー(GC)を用いて同定，ガスクロマトグラフィー質量分析（GC-MS）を用いて定量するため土器片から抽出された有機物の詳しい分子構造を推定することは可能であるが，それらの分子が分析対象である土器のどこに（表面or胎土）存在していたのかはよく分からなかった．また，土壌による続成作用(二次的な汚染)の影響や，分解しやすい有機物は残存しにくいため，必ずしも全ての土器からターゲットとする有機物が検出できるわけではない．したがって，現時点では，分子レベルの有機物情報に基づいた古食性復元はまだ発展途上の段階にあると言えよう．



黒い部分：完全に炭化したorターゲット有機分子が土壌による続成作用を受けた部分
斜線部分：ターゲット有機分子orターゲット分子起源の有機分子が残存している部分

図 TOF-SIMSによる土器に残存する有機物分子の二次元マッピングと従来法との比較

そこで，本研究では，従来法にまつわる複合する問題を解消する技術として，近年発展しつつある質量分析イメージングである飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）を利用することを考えた．TOF-SIMS は，一次イオンの照射によって，試料表面から放出された二次イオンを測定することにより，非破壊で表面の化学構造を調べる分析手法である．未処理の試料表面に由来する二次イオンを得ることができると同時に，そのイメージ像（二次元分布）を短時間に得ることができるため，半導体産業をはじめとする先端材料の解析・評価に広く用いられている．

従来から行われてきた湿式分析（破壊分析）では，単なる有機物の濃度情報しか得られなかったが，非破壊分析である TOF-SIMS を用いると，二次元の有機物分子情報を土器上にマッピングできる可能性がある．また，土器の厚さ方向（内面から外面）に応用すると，残存する有機物分子の存在度に関する情報が得られることが期待される（図参照）．したがって，土器表面と厚さ方向に関して，それぞれターゲットとする有機物分子の二次元マッピング情報を得ることができれば，土器に残存する有機物の空間分布を推定することも可能になるかもしれない．

さらに，もし，TOF-SIMS を利用することによって，土器表面や胎土に付着・吸着している“土壌による続成作用を受けた調理した食材起源の有機物分子“と”よりオリジナルの組成に近い食材起源の有機物分子“のような対応関係のある有機物分子間の存在度とその空間的な位置情報との関係を考察することができるようになるとすれば，従来法よりも“より確からしく，より具体的に” 土器に残存する有機物分子情報から，過去に土器で調理された食材を推定できるようになるかもしれない．

本発表では，名古屋大学生命農学研究科に設置された TOF-SIMS（TRIFT III，アルバック-ファイ（株））を用いて，実際に土器残存する有機分子の二次元マッピングを行い，TOF-SIMS を用いた古食性復元の可能性に関して議論を行うつもりである．

謝辞

TOF-SIMS 測定を手伝って頂いた名古屋大学高間瑠佳技官に謝意を表します．本研究は平成 22 年～23 年度日本学術振興会科学研究費補助金　若手研究（B）「飛行時間型二次イオン質量分析法を用いた古代人の食に関する研究」（代表者：宮田佳樹）及び，平成 19 年～22 年度科学研究費補助金　基盤研究（C）「製塩土器の科学的解析」（代表者：堀内晶子）の研究成果の一部である．

プラント・オパール中の炭素による生産遺構の年代決定方法に関する研究（Ⅰ）－プラント・オパール抽出方法および必要な土壌重量について－

○宇田津徹朗（宮崎大学）、中村俊夫（名古屋大学）、田崎博之（愛媛大学）、
外山秀一（皇學館大学）、 杉山真二（古環境研究所）、松田隆二（同）

1. はじめに

プラント・オパールが非晶質の珪酸（SiO_2）で構成されていることはよく知られているが、元素分析を行うと珪素と酸素に次ぐ元素として炭素が含まれている。したがって、年代を知りたい土に含まれるプラント・オパールを抽出し、含有される炭素を1mg程度集めると、^{14}C年代測定法（AMS法）によって年代を決定することが可能となる。

そこで、筆者らは、生産遺構土壌に含まれている主として一年生イネ科植物に由来するプラント・オパールに含まれる炭素を集め、生産遺構の年代を決定する一連の手法の確立を目指している。当該手法は、主として一年生の植物に由来する炭素を用いることから、炭化種子などの年代測定試料の検出が難しい場合に、それらを補完する年代決定手法となり得る。また、一定の土壌を確保しておけば、測定結果の検証も含め、再測定が容易であることは、従来の測定手法にない利点として挙げられる。

当該手法は、「土壌からのプラント・オパールの抽出」と「夾雑炭素の除去」そして「プラント・オパールからの炭素抽出とAMS法による測定」から構成される。今回の発表では、前者の2つ、すなわち、土壌から炭素抽出に必要とされるプラント・オパールを抽出する方法および必要な土壌重量について検討を行った結果について紹介する。

2. 検討1：土壌中からのプラント・オパールを抽出する方法について

先に述べたように、プラント・オパールには炭素が含まれている。しかし、その含有率は、給源植物によるが0.2～2.0%と低く（Piperno 2006）、現在、唯一プラント・オパールからの年代測定（抽出は行っていない）を実施しているBETA社では、その必要量を300mgと定めている。これは、イネのプラント・オパールに換算すると実に400万個程度に相当しており、測定に必要な純度の高い（夾雑粒子の少ない）プラント・オパールを確保するにはかなり手間と時間を必要とし、当該手法の実用化と普及の大きな障害となっている。

そこで、生産遺構土壌および今後の用途の広がりも視野に入れ、自然堆積土壌も供試して、抽出実験を行い、抽出処理の各工程および処理条件について検討を行った。その結果、現段階として、以下に述べる工程を用いることにより、土壌中のプラント・オパール密度の多少にかかわらず、安定した抽出が行える見通しを得た。

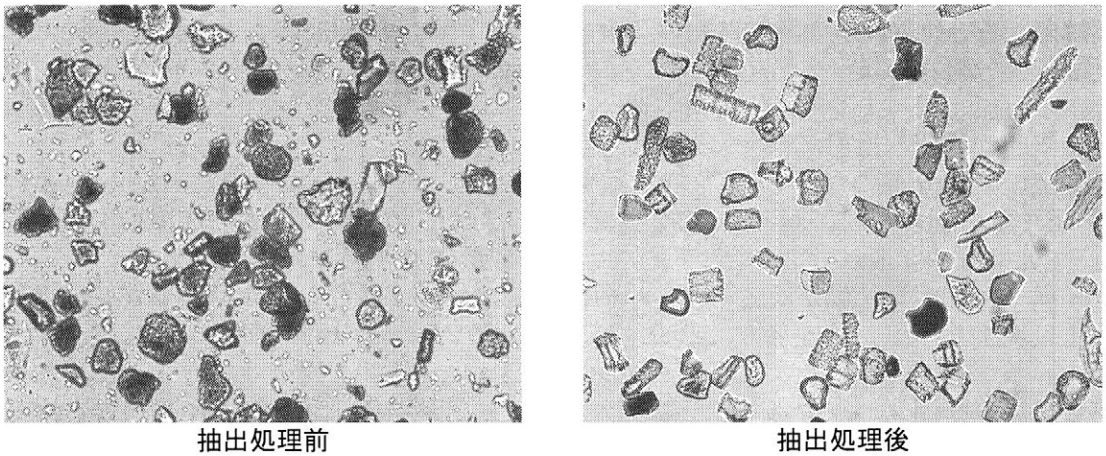
1）プラント・オパールの抽出工程

抽出の対象となる1年生のイネ科植物に由来するプラント・オパールの大きさは、およそ20～100μmである。また、その比重は一般には2.3程度とされる。したがって、抽出工程は、プラント・オパールの粒径と比重に該当しない土粒子を除去する以下の粒径分画と比重分画の工程で構成される。

①攪拌機による、土粒子の水中分散
②125μm～2.0mmの篩による水洗篩別
③沈底法による20μm未満の粒子除去
④超音波によるプラント・オパール付着物（粘土、鉱物）除去、夾雑粒子破壊（微細化）
⑤テトロンメッシュおよび沈底法による粒子除去
⑥乾燥
⑦比重液（SPT:ポリタングステン酸ナトリウム）による重鉱物、軽鉱物、有機物の除去
⑧精製水による比重液の希釈洗浄と乾燥

①から⑧の抽出処理を行うと、以下のように、プラント・オパール密度の低い土壌からも良好な抽出試料を得ることができ(写真右の粒子は、ほぼすべてプラント・オパール)、十分な土壌を採取しておけば、年代測定に必要な 300mg のプラント・オパールの確保が可能となった。

試料の純度については、火山ガラス、海綿骨針などの除去が課題であることが明らかとなってきているが、粒径分画の組み合わせで、ほぼ除去できる見通しが得られてきている。抽出時間の短縮については、粘土粒子の除去が鍵であり、超音波処理や pH 調整さらに希釈量などの最適化を進めている。



抽出処理前　　抽出処理後

写真　抽出処理の効果

2)夾雑炭素の除去について

プラント・オパールは、土器胎土から検出されることからも分かるように、ガラスと同じ耐熱性を有している。そのため、ガラス器具の付着物を除去する場合と同様な処理を用いることができる。そこで、抽出したプラント・オパールについて有機物分解処理(ケルダール分解)を実施している。

当該処理を行うと、通常の炭化物からの炭素抽出処理に抽出プラント・オパールを供しても、全く炭素が抽出されないことが確認されている。また、BETA 社に依頼した測定結果に見られる抽出炭素量も試料重量に矛盾しないものである。分析事例が増加する中では、例外も発生することは視野に入れておく必要があるが、現段階としては、当該処理が実用性に耐えるものと評価されよう。

3. 検討2:年代測定に必要なプラント・オパールを確保するのに必要な土壌重量について

当該年代測定手法の実用化と普及においては、試料採取量(プラント・オパール 300mg の抽出が確実に見込める量)の目安づくりも重要である。そこで、生産遺構土壌 5 点、自然堆積土壌 5 点について定量分析およびプラント・オパール抽出処理を行い、定量分析による推定量と実際の抽出量から先の目安について検討した。

その結果、抽出率は 20～60%であり、火山ガラスなどが多くなると、純度を上げる処理によってプラント・オパールの損失が生じ、効率が低下することが明らかとなっている。現段階では、生産遺構土壌に限定すれば、200g、自然堆積土壌については、500g が、ほぼ確実に抽出測定が見込める目安重量(いずれも乾燥重量)となる。

4. まとめと今後の課題

今回の検討により、プラント・オパールの抽出および夾雑炭素の除去については、確実な測定試料の確保という点では、ほぼ実用的な段階に進んだと考えられる。但し、時間や抽出効率という点では、改善の余地が残されている。特に、必要土壌量については、自然堆積土壌についても 200～300 g を目指したい。

また、炭素の抽出と測定については、BETA 社の測定に依存しており、今後は、国内施設でのプラント・オパールからの炭素抽出と測定について進めて行きたい。

遺跡における時空的植生復原
—佐賀東名貝塚における植物遺体分析—

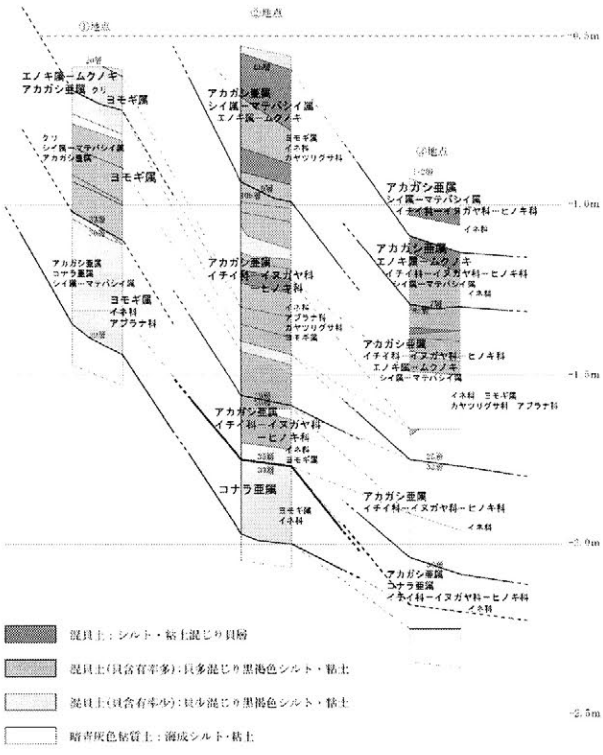
奈良教育大学　○金原正明

遺跡における時空的な植生復原を行うには、単一の試料や１箇所の連続試料の分析からは難しく、複数箇所の連続試料の分析とその堆積環境の把握によって可能となり、分析も花粉分析など単一の分析ではなく、堆積特性の異なる大型と小型の遺体の組み合わせから可能となってくる。佐賀東名遺跡では、これらの条件で計画的に分析が行え、植生の空間的展開の検討が行うことができた。

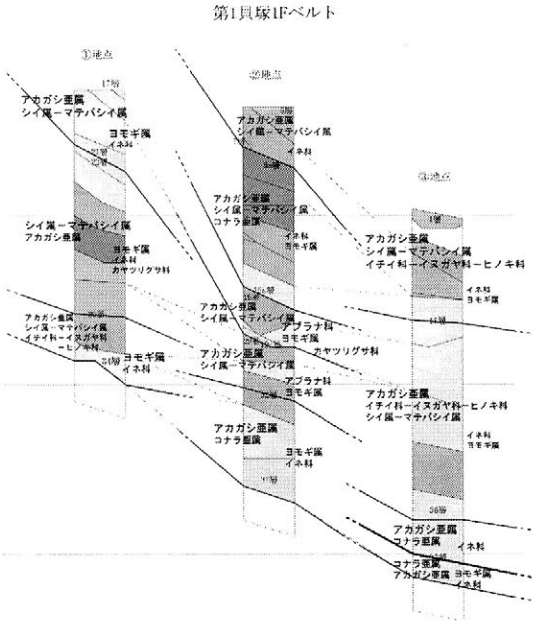
植生の空間分布については、花粉と種実の分布と分類群の優占性の特徴から復元される。上中部の樹木花粉において、第２貝塚H断面および第１貝塚１Ｆ断面の最も西側（海側）で低位置の③地点では、コナラ属アカガシ亜属、イチイ科－イヌガヤ科－ヒノキ科、シイ属－マテバシイ属が優占し、エノキ属－ムクノキ、コナラ属コナラ亜属がやや多い。第１貝塚１Ｆ断面の②地点ではイチイ科－イヌガヤ科－ヒノキ科が低率になり、第１貝塚１Ｆ断面②地点ではシイ属－マテバシイ属がコナラ属アカガシ亜属とともに優占し、第２貝塚H断面②地点ではコナラ属アカガシ亜属とシイ属－マテバシイ属が優占するが、エノキ属－ムクノキも不安定ながら多い。陸側の堆積である第２貝塚H断面①地点では、陸域の堆積であるため分解が著しいが、エノキ属－ムクノキ、コナラ属アカガシ亜属、シイ属－マテバシイ属、クリがやや多くなる。種実では第２貝塚H断面①地点上中部と②地点上部、第１貝塚１Ｆ断面①地点上部でニワトコが多くなり、他に樹木ではヤマグワはやや多い。花粉群集は海水の影響の少ない陸側の地点ほど近隣の森林要素を反映し、海水の影響の強い海側の地点ほど後背に広く分布する森林要素を反映すると考えられる。また、シイ属－マテバシイ属やクリは虫媒花植物であり近隣の分布が示唆される。種実も多いニワトコは近接した生育が考えられ、やや少ないがヤマグワも同様である。草本についても同様であり、花粉群集においては両地点とも海側ではイネ科、ヨモギ属、カヤツリグサ科がやや低率に出現し、陸側ではヨモギ属を主にイネ科、カヤツリグサ科、アブラナ科が多くなる。種実では、カヤツリグサ科が多いが、海側から陸側に向かい低位置の第１貝塚ではアブラナ科がやや多く、より高位置の第２貝塚ではナデシコ科が多くなる。カタバミ属はやや少ないがどちらでも伴われ、種子がはじけて散布することから散布性が高かったとみなされる。

以上から、貝塚層の潮間帯の箇所にはカヤツリグサ科、アブラナ科、イネ科の耐塩性草本が生育し、海と接する貝塚東側の陸域にはヨモギ属やカタバミ属、イネ科、カヤツリグサ科の草本や二次林要素の低木ニワトコが分布し、またヤマグワが散在して生育していた。集落域にかけも同様にヨモギ属やカタバミ属、イネ科、カヤツリグサ科の草本やニワトコの低木が分布し、人為干渉を受けた植生が分布していたと考えられる。集落域から後背に向かっては、コナラ属アカガシ亜属（種実よりイチイガシが主）をまじえながらより耐塩性のあるシイ属－マテバシイ属を主とする照葉樹林が分布し、川沿い等の適潤地にはエノキ属－ムクノキ（種実よりムクノキ）林やヤマグワ、二次林要素として部分的にクリ林が分布していた。後背に向かって、イチイ科－イヌガヤ科－ヒノキ科コナラ属アカガシ亜属（種実よりイチイガシが主）が多くなりイチイガシ林を主とする照葉樹林が分布し、河川および沢沿いにはイチイ科－イヌガヤ科－ヒノキ科（種実よりカヤやイヌガヤ）が特徴的にやや多く分布していた。

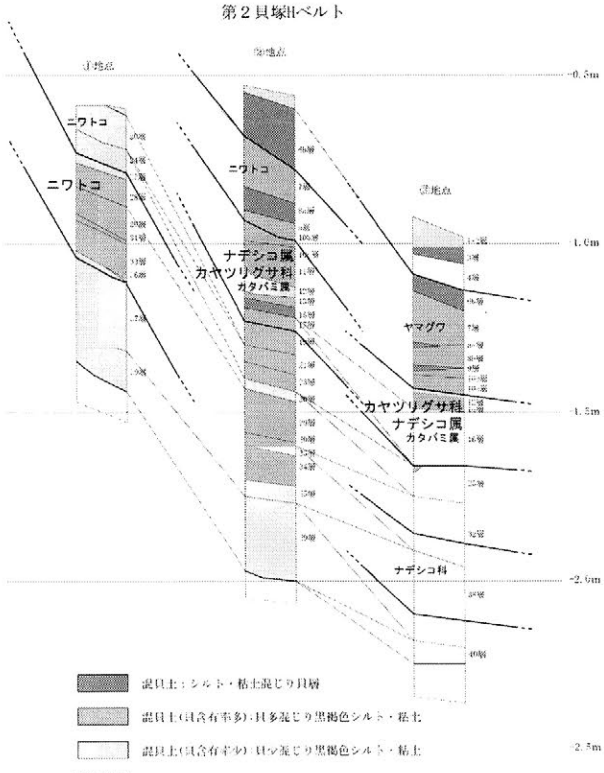
第２貝塚Hベルト



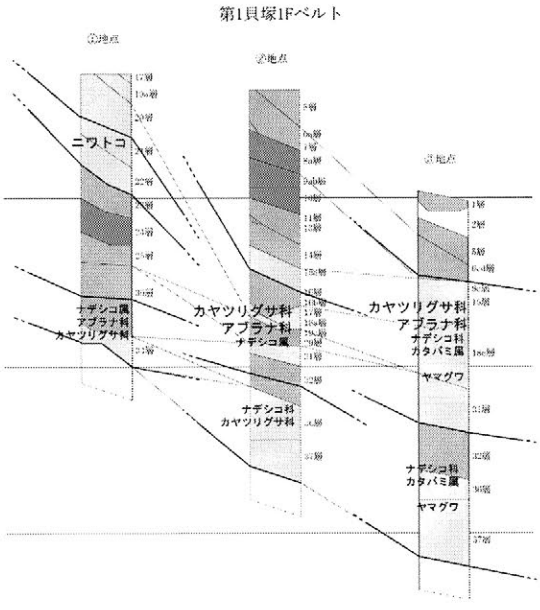
第１貝塚1Fベルト



第２貝塚Hベルト



第１貝塚1Fベルト



九州南部における先史時代の植物利用—指宿市西多羅ヶ迫遺跡および水迫遺跡から出土した石器の残存デンプン分析—

○渋谷綾子（広島大学総合博物館・国立民族学博物館）

1　はじめに

西多羅ヶ迫遺跡は，鹿児島県指宿市にある後期旧石器時代から縄文時代前期の遺跡である。同遺跡は指宿市教育委員会によって2002・2003・2005年度に調査され，さらに2006年6月から2007年3月に発掘調査が行われ，現在整理作業を行っている。発掘調査では後期旧石器時代前半期の石器が多数出土しており，礫石器については現時点で台石8点，凹み痕が認められるもの19点，凹み痕と磨面が認められるもの20点，磨面が認められるもの15点が確認されている。一方の水迫遺跡は，同じく指宿市にある後期旧石器時代から弥生時代中期の遺跡である。指宿市教育委員会によって1996年度に確認調査が行われた後，2000年度に発掘調査が行われた。調査では後期旧石器時代の竪穴建物跡や道跡，縄文時代草創期の集石や土坑，早期の陥し穴や柱穴，配石炉などの遺構が検出されており，ナイフ形石器や磨石，石皿などの石器類，縄文土器や弥生土器などの遺物の出土も確認されている。

本研究は，西多羅ヶ迫遺跡と水迫遺跡から出土した石器より残存デンプン粒の検出を試み，これらの石器が旧石器時代および縄文時代における植物加工具である可能性を検証したものである。

2　調査資料と分析の方法

(1)　調査資料

西多羅ヶ迫遺跡の調査資料は，すべて2006年度の調査で出土した石器である。これらは，後期旧石器時代前半期（AT下位）の遺物包含層（第10層，黒褐色～明褐色層）から出土した磨石・敲石7点，台石4点の合計11点である。すべて出土後に水洗されているが，表面の残留物が肉眼で確認できた。

水迫遺跡の調査資料は，第I調査区の縄文時代早期の第5・6層から出土した安山岩製の磨石1点と石皿2点である。磨面を2箇所もつ磨石と平面の形態が不整形を呈する石皿は，共伴して出土した。すべて出土後に水洗されており，肉眼では残留物を確認することができなかった。

(2)　試料採取と分析の方法

石器の残存分析で採用されているフラガーらの方法（Fullagar 2006）を用いて，分析試料を採取した。採取した試料はすべてプレパラートを作製した。次に，偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E600，倍率：100～400倍）を用いて，接眼レンズを10倍，対物レンズを40倍とした視野条件で観察し，写真記録を行った。写真記録については，デンプン粒の外形や大きさ（粒径），粒芯，層状構造を記録するため開放ニコルで撮影し，形成核の位置や偏光十字の形状を記録するため直交ニコルで撮影した。

さらに資料間の比較を行うため，現生標本の観察結果（渋谷2006, 2009）と先行研究の方法（Lentfer & Torrence, 2007; Mercader et al. 2008; Torrence 2006; Torrence et al. 2004）を参照し，残存デンプン粒の外形はA：円形・いびつな円形・楕円形，B：半円形・三角形・四角形，C：多角形の3項目，大きさは粒子の最長部分を計測してI：10μm未満，II：10～20μm，III：20μmより大の3項目，合計9項目で分類した。

3　分析結果

(1)　西多羅ヶ迫遺跡

残存デンプン粒は，調査資料11点のうち10点から合計157個検出された。分解・損傷したデンプン粒は検出量全体の1割に満たず，大半が外形や大きさ，偏光十字の形状を容易に確認することので

きる良好な遺存状態であった。明瞭な使用痕をもつ9点の石器については，残存デンプン粒の検出部位の多くが使用痕の確認された面であった。

残存デンプン粒の遺存状態については単独粒や複数粒が確認でき，植物繊維や細胞組織等の植物性物質も検出した。ただしこれらの物質の検出量は非常に少なく，まったく見られない石器もあった。さらに，細胞組織の中に包含された残存デンプン粒も検出した。形態についてはBIII，CI，CIII以外の6類型を確認しており，多様な植物が加工された可能性をうかがわせた。

(2) 水迫遺跡

残存デンプン粒は，調査資料3点から合計63個検出された。分解・損傷したデンプン粒は検出量全体の1割に満たず，大半のデンプン粒がその外形や大きさ，偏光十字の形状を容易に確認することのできる良好な遺存状態であった。どの石器においても，残存デンプン粒の検出部位の多くが使用痕の確認された面であった。

残存デンプン粒の遺存状態については，単独粒や複数粒が確認できた。植物繊維や細胞組織等の植物性物質も検出したが，これらの物質の検出量は非常に少なかった。また，細胞組織の中に包含されたものや繊維内にある残存デンプン粒も検出した。形態についてはBIとBIII以外の7類型を確認しており，多様な植物が加工された可能性を示唆した。

4 考察

西多羅ヶ迫遺跡，水迫遺跡ともに，残存デンプン粒が多く検出された部位は使用痕の確認された部位であり，それらの検出量は使用痕の外側あるいは使用痕のない別の面よりも多かった。このことは，調査した石器が植物の加工具であった可能性を示唆している。

残存デンプン粒の形態分類を行ったところ，どの石器からも円形を主体とするデンプン粒を多く検出しており，多角形のデンプン粒も検出したことが判明した。現生植物のデンプン粒では円形と多角形のデンプン粒をもつ植物は植物の種類がまったく異なる。このことから，調査資料が複数の種類の植物を加工する道具であった可能性を指摘することができる。また両遺跡の調査資料から，細胞組織や繊維内に包含された状態の残存デンプン粒を検出した。これらについても現生植物のデンプン粒と比較したところ，このような状態のデンプン粒は根茎・球根類に由来する可能性がきわめて高い。

現生植物のデンプン粒と石器の残存デンプン粒との形態学的な比較からは，石器で加工された植物の種類を絞りこむことが可能となる。残存デンプン粒の候補となる植物は，西多羅ヶ迫遺跡については18属33種，水迫遺跡については17属29種を提示することができる。これらの植物には堅果類や根茎・球根類が含まれている。

引用文献

Fullagar, R. 2006. Starch on artifacts. *Ancient starch research* (R. Torrence & H. Barton eds.). 177-203. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.

Lentfer, C. & Torrence, R. 2007. Holocene volcanic activity, vegetation succession, and ancient human land use: Unraveling the interactions on Garua Island, Papua New Guinea. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143: 83-105.

Mercader, J., Bennett, T. & Raja, M. 2008. Middle Stone Age starch acquisition in the Niassa Rift, Mozambique. *Quaternary Research* 70: 283-300.

渋谷綾子. 2006. 日本の現存植物を用いた参照デンプン標本. 新潟県立歴史博物館研究紀要 7: 7-16.

渋谷綾子. 2009. 日本の先史時代における植物性食料の加工と利用：残存デンプン分析法の理論と応用. 博士論文, 総合研究大学院大学, 神奈川県三浦郡葉山町.

Torrence, R. 2006. Description, classification, and identification. *Ancient starch research* (R. Torrence & H. Barton eds.). 115-143. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.

Torrence, R., Wright, R. & Conway, R. 2004. Identification of starch granules using image analysis and multivariate techniques. *Journal of Archaeological Science* 31: 519-532.

北海道伊達市ポンマ遺跡から復元された17世紀の古環境

○添田雄二・山田悟郎（北海道開拓記念館）・渡邊剛（北大・理学研究院）・早田勉（火山灰考古学研究所）・池田陽香・鈴木明彦・都郷義寛（北海道教育大学札幌校）・青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）・菅野修広（登別市教育委員会）・赤松守雄（元北海道開拓記念館所属）

1. はじめに

15世紀から20世紀初頭までは「小氷期(Little Ice Age)」と呼ばれる寒冷期であった。日本(本州)では17世紀からの300年間に冷夏等の影響で大凶作・大飢饉が頻発し、17世紀は北海道も特に厳寒であったことが明らかにされてきている。また、17世紀は北海道太平洋沿岸が異常な規模の巨大津波に何度も襲われた時期でもある。これらのことから、17世紀の北海道では、自然界および人間社会が、異常な寒さや度重なる自然災害によって、何かしらの影響を受けていたことが予想される。そこで、我々は、これまでの発掘報告を参考に、貝塚や畠跡、遺跡に残された自然災害の痕跡等が17世紀に限定できる噴火湾沿岸の伊達市ポンマ遺跡（第1図）を対象として地質学的・考古学的発掘調査を実施し、人間活動も含めた古環境復元を試みた。

2.研究手法

海岸線に対して垂直に調査測線を設定し、側線上（遺跡上）で深さ約1mのトレンチ1と2を掘削した。掘削においては、火山灰や畠跡を確認しつつ慎重に掘り下げ、測量や記載、写真撮影後に各種分析（火山灰、珪藻、花粉・種子、年代測定、同位体）用試料を採取した。

3. 結果と考察

現地調査と各種分析の結果、以下のことが確認された。

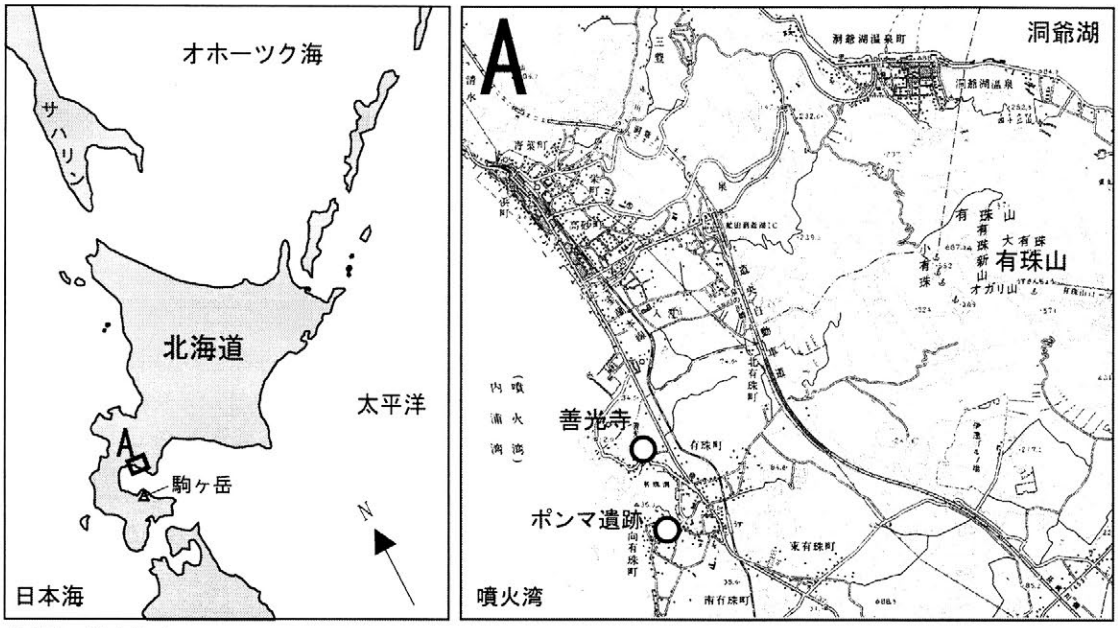
(1) 調査地点の地層は、下位から砂丘砂、砂質腐植土、Us-b（1663年の有珠山火山灰）、表層（盛土）と重なり、砂質腐植土の上位には、基底に不規則な浸食面を持つ層厚2〜3cmの砂層（イベント堆積物）が確認された（第2図）。このイベント堆積物のTopにはKo-d（1640年の駒ヶ岳火山灰）がレンズ状に見られ、珪藻遺骸分析や粒度分析、さらに隣接する善光寺(第1図)に関する古文書の記録等によって、この砂層が1640年の駒ヶ岳噴火津波によって海底からこの地に運ばれてきた津波堆積物であることが確認された。さらに、本調査地域においては、少なくとも内陸250m付近まで津波が遡上したことが判明した。

(2) 火山灰との層位関係から、1640年以前と1640年から1663年の間に形成された2つの時期の畠跡が確認され、後者の畠跡では、Us-b直下にアサリを主体とした貝集中が確認された。なお、砂質腐植土の基底から採取した炭化材の年代測定値から、本地点ではAD1300〜1400年頃に砂丘の発達（砂の供給）が止まり、砂丘間低地（トレンチ1と2の間）に腐植土が形成される環境になったと推定される。この腐植土は、後に耕作を行う上で重要な土壌となった。

(3) アサリ殻の2個体の酸素・炭素安定同位体比の測定の結果、酸素同位体比は、3回の約6‰の幅を持つ周期的変動が認められ主に当時の水温変化を反映している可能性が高い。また、2個体のアサリ試料の死亡付近の酸素同位体比の記録は共に春〜夏の間で止まっており、この季節に採取されたものと思われる。酸素同位体比の夏の部位で水温変化以上の低い値を持つピークが認められ、これは炭素同位体比でも同時に認められることから、アサリ殻には、降水量などの塩分変化も記録されていると思われる。今後、より詳細な遺跡出土試料殻の解析と現生殻と現場水温との比較等により定量的な水温を復元できる可能性が高い。

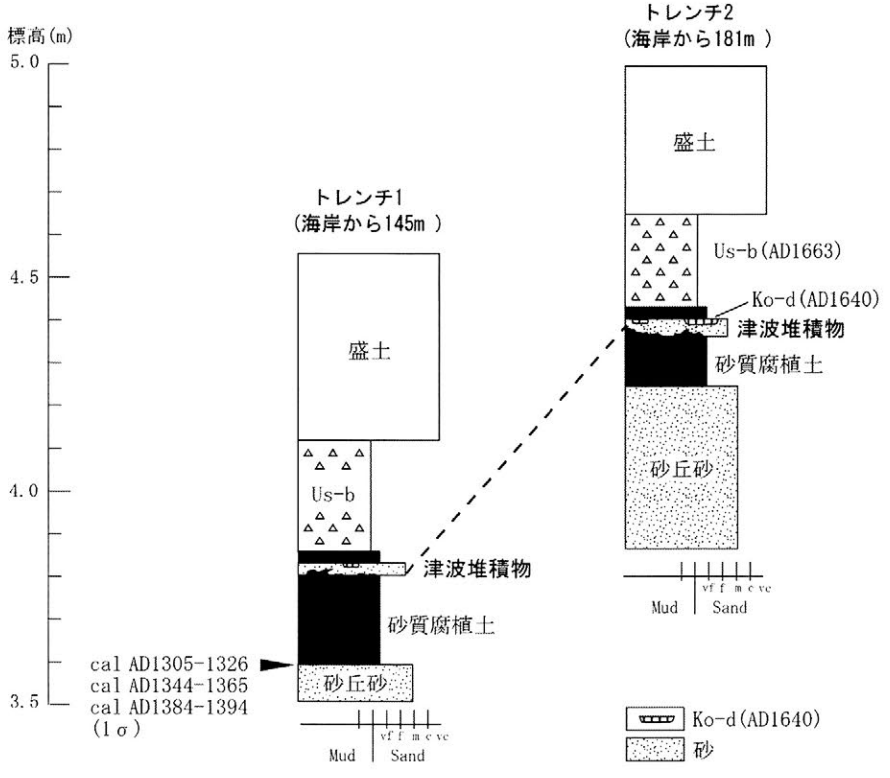
以上のことから、本地点では、1400年頃からの寒冷化（小氷期の始まり）によって汀線が後退し砂丘の発達が止まったことで砂丘間低地に腐植土が発達し、畠を耕作できる環境になったと推定される。その後、アイヌは少なくとも1640年頃には本地点で耕作を開始した。1640年には駒ヶ岳噴火と津波の影響を受けたが、同地で農耕を続けた。しかし、1663年の有珠山噴火で大量の火山灰が厚く堆積したため、大きな被害を受けた。

今後は、定量的な水温の復元や栽培作物の構成比率を明らかにすることで17世紀中頃の寒冷環境の実態が把握でき、人々がその影響をどの程度受けていたか推定できると考える。



第1図　調査地点

A図：国土地理院発行1/50000地形図「虻田」の一部を使用



第2図　地質柱状図(南壁面)

※年代測定・・・AMS/（株）パレオ・ラボ

古代中近東地域におけるコバルト着色剤の変遷

○阿部 善也[1]、菊川 匡[1,2]、張本 路丹[1]、タンタラカーン・クリアンカモル[1]、中井 泉[1]
(1 東理大・理、2 古代エジプト美術館)

【序】

コバルトによる青色着色技術は新王国時代第 18 王朝(前 15～13 C)のエジプトに起源を発し，エジプト西方砂漠で得られる「コバルト・ミョウバン」と呼ばれる鉱物をコバルト着色剤の原料に使っていたとされる[1)]。この時代のエジプトでは青色ガラス，青色ファイアンス，青色顔料などさまざまな用途にコバルトが利用されたが，新王国時代の終焉(前 11 C 頃)とともに突如としてエジプトからコバルト着色技術は姿を消した。その一方でエジプト以外の中近東地域では前 2 千年紀末よりガラスの着色剤としてコバルトが使われ始め，前 1 千年紀には広く流通した。このエジプト以外に流通したコバルト着色剤はエジプトのコバルト・ミョウバンと入れ替わる形で登場したことになるが，どこでどのような形で得られたものなのかは明らかではない。またエジプトでも前7 C頃よりコバルトによる青色着色が再開するが，そのコバルト着色剤に関しても詳細は不明である。

このように，古代中近東地域ではコバルトによる青色着色技術が広く利用されていたものの，その原料の採取や流通に関しては不明な点が多く残されている。その原因は，エジプト以外の地域の考古遺物に関する詳細な分析データが少ないこと，そして“コバルト着色遺物”というカテゴリで広い時代・地域について体系的に行われた研究がこれまでにないことにある。そこで本研究では古代中近東地域のコバルト着色剤に着目し，その利用変遷に関する考察を行うことを目的とした。

【実験内容】

本研究では可搬型の分析装置を考古遺跡や美術館へと持ち込み，古代中近東地域のコバルト着色遺物を中心に非破壊オンサイト分析を行った。組成分析に使用したポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX-100FA-IV は装置メーカ(OURSTEX(株))との共同開発品であり，さまざまな特長により同種の装置として世界最高レベルの性能を有する[2)]。分析対象とした考古遺物は，エジプトのアブ・シール南丘陵遺跡(発掘隊: 早稲田調査隊，隊長: 吉村作治 教授)，トルコのカマン・カレホユック遺跡(発掘隊: 中近東文化センター，隊長: 大村幸弘 博士)，シリアのテル・シェハマッド遺跡(発掘隊: ベルリン自由大学，隊長: Hartmut Kuhne 教授)からの出土遺物，および MIHO MUSEUM(信楽，滋賀)，古代エジプト美術館(渋谷，東京)の所蔵品である。分析は全て非破壊で行った。

【結果および考察】

特性化の結果を図 1 にまとめた。新王国時代第 18 王朝(前 15～13 C)のエジプトのコバルト着色遺物は，これまで報告されていたとおりエジプト西方砂漠で得られるコバルト・ミョウバンとよく似た組成的特徴(図 1, Type A)を有していた。同様の組成的特徴を持つ青色ガラスがミタンニ王国時代(前 15～13 C)のシリアからも出土しており，当時の国交を示すデータとなった。先述のとおり Type A の原料であるコバルト・ミョウバンは新王国時代末に利用が停止されたというのが従来説であったが，ローマ期エジプト(前後 1 C)の青色ガラスに Type A ときわめてよく似た組成をもつものが見つかった。これはすなわち，利用停止から千年以上が経過したローマ期のエジプトでコバルト・ミョウバンの利用が再開されたことを意味する。よって，新王国時代末に生じたコバルト・ミョウバンの利用停止は，必ずしも原料の枯渇という単純な理由によるものではないと考えられる。

エジプト，アブ・シール南丘陵遺跡からは新王国時代の第 19 王朝末（前 13 C 末）に年代付けられるファイアンス製品およびガラス製品が多数出土しており，その中にはコバルトによる着色が施されたものも見つかった。分析の結果，そのコバルト着色剤の組成はこれまでに報告のない組成的特徴を持っていることが明らかとなった（図 1，Type I）[3]。コバルト・ミョウバンの利用前後にあたる時代のエジプトで新種のコバルト着色剤が見つかったことは，古代中近東地域におけるコバルト着色剤の利用を考察するうえできわめて重要である。

トルコ，カマン・カレホユック遺跡の鉄器時代（前 12～4 C）の文化層から出土した青色ガラスは，エジプト新王国時代第 18 王朝のコバルト・ミョウバンによる青色ガラス（Type A）とは明らかに異なる組成を有していた（図 1，Type K）。このガラスはメソポタミアからの輸入品と考えられ，メソポタミアではエジプトと異なるコバルト原料を用いて青色ガラスを作っていたことが明らかとなった。これと類似した組成的特徴を持つ青色ガラスがシリアのテル・シェハマッド遺跡の同時代の遺構から出土しており，このコバルト着色剤は局所的に利用されたものではなく，ある程度広い範囲に流通していたものであると考えられる。

前 1 千年紀のコバルト着色遺物の分析により，ニッケルや亜鉛を含まない新たなコバルト着色剤が確認された（図 1，Type N）。このタイプのコバルト着色剤はすでに多くの文献で報告されており，中近東地域からヨーロッパ方面に及ぶ，きわめて広範囲に流通したコバルト着色剤だったものと考えられる。このコバルト着色剤はさらに不純物としてアンチモンを含むもの（Type N1）とマンガンを含むもの（Type N2）の 2 種類に大別でき，Type N1 から Type N2 へと利用の中心が変遷したものと考えられる。

このようにコバルト着色遺物に着目した考古化学的研究により，古代中近東地域におけるコバルト着色剤の利用の変遷が明らかとなった。特に，これまで報告のなかった新王国時代後半のエジプト，および古代アナトリア地域におけるコバルト着色剤に関して詳細な分析データが得られたことは，コバルト原料の移り変わりや流通を考察するうえで意義のあることといえよう。

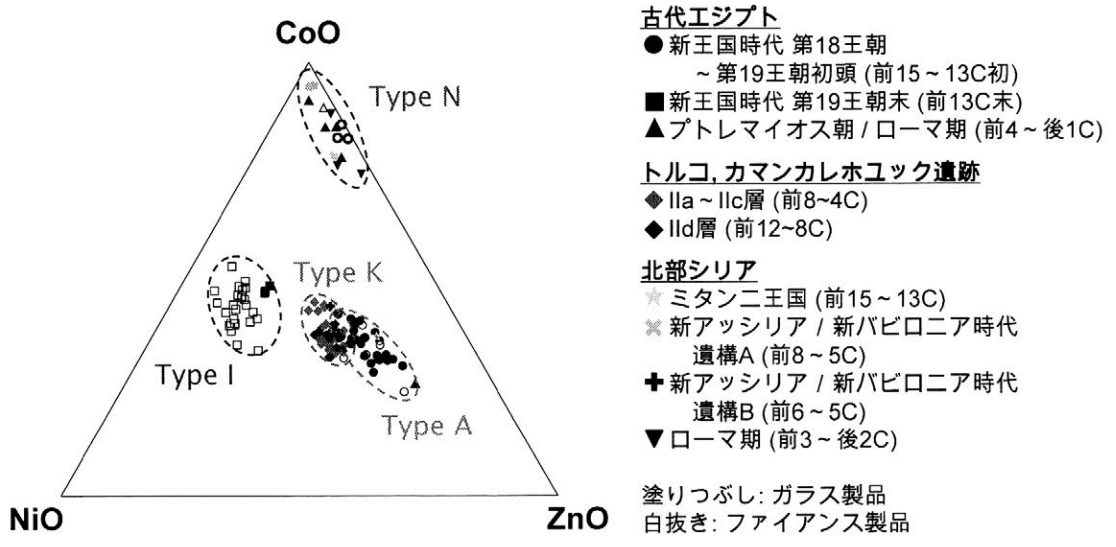


図 1　古代中近東地域のコバルト着色剤の組成特性化

【文献】

1) A. J. Shortland *et al.*: *Archaeomatry*, **48**, 153-168 (2006).
2) 菊川 匡 他:『X 線分析の進歩』**40**, 325-337 (2009).
3) 阿部 善也 他:『エジプト学研究 別冊 第 14 号』, pp. 94-116, 早稲田大学エジプト学会(2010).

古代エジプトの銅・青銅製品の分析

○菊川　匡[1]、橋本　英将[2]、大城道則[3]

[1]古代エジプト美術館、[2]元興寺文化財研究所、[3]駒澤大学　文学部

1. はじめに

古代エジプトにおける最古の銅製品は紀元前4千年紀後期で、その後前3世紀までに、スズ、鉛、亜鉛が順次加えられていった。本研究は成分比率の時代変遷及び用途別の特性を特徴付ける事を目的とした。

2. 試料と分析装置

本研究に用いられた試料は、古代エジプト美術館（渋谷）で所蔵されている銅・青銅製品24点である。遺物は古王国時代（前2686-2181年）のノミ2点、中王国時代（前2025-1700年）の像1点、新王国時代（前1550-1069年）の手鏡2点（内1点鍍金）・指輪1点、第三中間期・第25王朝（前747-656年）の王の鍍金像1点、末期王朝からローマ期（前664-後395年）の錠1点・指輪1点・像15点（内2点鍍金、1点金象嵌、1点銀象嵌、1点金銀合金象嵌）である。

本研究に用いられた分析装置は、ハンドヘルド型蛍光X線分析計 Innov-Xα4000（Innov-X社、アメリカ）で、分析条件は管電圧35Kv、管電流5μA、Ta（タンタル）管球、測定径約1cm、測定時間15秒である。

3. 結果と考察

スズは銅の融点を下げ溶解時の流動性を高め、冷却後は硬くなるので実用品に適している。鉛も融点を下げ流動性を高め像の鋳造に適しているが、脆くなり実用品には不適である。

今回測定した遺物（象嵌を除く）の分析結果をFig.1に示す。古王国時代のノミは銅99.5%と高純度であった。中王国時代のワニ小像は銅：スズ：鉛比率は87.1%：12.4%:0.5%で、初めてスズが加えられていて、青銅製品といえる。新王国時代の細い針金状の指輪はスズが7.2%含まれ強化されていた。新王国時代の手鏡の1点は鏡面と柄が一体成型されておりスズが8.6%だった。もう1点は鏡面と柄の部分が別々に作られている。興味深いことに鏡面はスズを26.8%も含み当時は銀色だったことがわかった。新王国時代以前の遺物はいずれも鉛を不純物程度しか含んでいない。第三中間期・第25王朝の王像の含有率は銅：スズ：鉛が88.2%：1.7%：9.3%で鉛が像に使われだしたことがわかった。末期王朝からローマ期の像のスズの含有率は1.4~22.7%と幅広く、強度だけでなく色を銀色に変えていたと推測され、鉛の含有量も2.9~57.5%と幅広く、鋳造時の流動性の為だけでなく色も銀色に変えていたと推測される。鉛が40%以上含まれているものでは冷却後に彫刻した可能性がある。同時期の指輪には鉛が21%も含まれていたが、輪の部分が太いため強度が必要ないためと考えられる。プトレマイオス朝からローマ期の錠は測定した2箇所の平均含有率が銅：スズ：鉛で82.5%：16.9%：0.3%であった。スズの比率が高くやや白みがかった色だったと推定される。鋳造は容易になるが強度を低下させる鉛はほとんど含まれておらず、鉛を多く含む同時期の像と対照的である。同時期の亜鉛を含む小像は3点であったが、色を黄色に変化させていたと考えられる。時代に関係なく遺物には不純物として鉄が0~2%（1点のみ4.3%）が含まれていた。

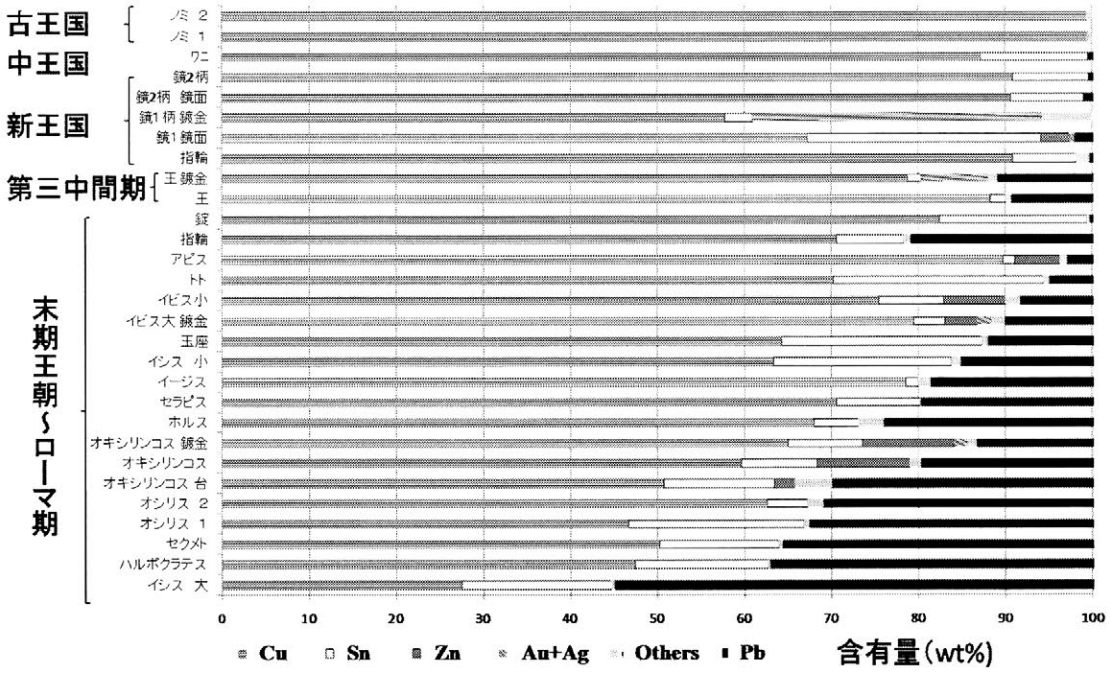


Fig.1 古代エジプトの銅・青銅製品の含有量

青銅製品は鍍金が施されたり、金や銀で象嵌される場合があった。分析した遺物の鍍金は薄く剥離も見られ、象嵌部分は測定範囲より小さく本体も計測してしまう為、金銀の含有比について考察した。新王国時代の鏡面と柄が別々に作られた鏡の柄の金箔は金：銀が 31:69 で、金・銀の不純物と考えられるタングステンが金の含有量比 0.52 含まれていた。第 25 王朝の王像と末期王朝からローマ期の像 2 点の金箔に銀は含まれていなかった。末期王朝からローマ期の像の眼には象嵌が施されているが、象嵌の金：銀の含有比は 100:0、50:50、0:100 が 1 点ずつだった。

4. 結論・展望

今回は銅・青銅の成分の時代変遷及び用途別の特性を特徴付けることができた。鉛が成分の半分以上を占める像もあり、彫刻されていた可能性が示唆された。今後は分析の点数を増やし、古王国時代のノミに銅を硬くする効果があるヒ素が含まれていないか詳細に分析したい。

染織文化財に用いられた染料の超微量分析の試み（4）
ESIイオン化質量分析による非アゾ系初期合成染料の分析

○ 佐々木良子（京都工芸繊維大学）、佐々木健（京都工芸繊維大学）

はじめに

発表者らは文化財染織品に用いられた染料分析において、非破壊分析である反射分光法や、破壊分析である染料抽出液への分光法やHPLC分析といった複数の分析手法を組み合わせた同定法を開発し、微量分析手法の有効性を示してきた[1]。

初期合成染料が用いられてから100年以上が経過し、文化財染織品に用いられる染料も天然染料だけでなく初期合成染料も分析の必要が出てきている。そこで酸性アゾ染料を中心に、質量分析（ESI-MS　及びMSMS）の有効性を報告した[2]。今回、合成染料黎明期に開発された、塩基性染料を中心とする非アゾ系染料のESIイオン化質量分析を行った。更に大正から昭和初期にかけて作成された染料見本帖から、試料を採取し、分析に供した結果も合わせて報告する。

実験

分析：試料（約300μgの染色絹布）をメタノール/水に溶解し、ESIイオン化(Thermoelectron LCQ)による質量分析を行った。

標品：試薬グレードの市販品を用いた。

資料：『独逸グリースハイムエレクトロン染料薬品製造會社　モスリン機械捺染標本』（独逸染料合名會社　1930年頃）および、『バイエル染料薬品製造會社　染料標本』（井上喜商店1930年頃）から試料（約300μg）を採取し、分析に供した。

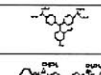
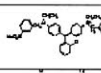
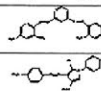
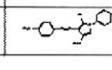
結果と考察

合成染料は初期の段階から化学構造が類似な多数の類縁体が合成されてきた。塩基性染料を中心とする非アゾ系染料（ニトロ染料、ジフェニルメタン染料、トリフェニルメタン染料、ザンセン染料、アクリジン染料、キノリン染料、インジゴ染料）及び塩基性アゾ染料について、微量分析の手段として質量分析を試みた(Table 1)。分析モードの選択を適切に行うことにより、いずれの化学構造を有する染料もESI-MSにおいて分子量に相当するMSのピークが観察できた。また、MSMSを行うことにより、其々構造由来のプロダクトイオンが得られ、容易に染料成分を同定することができた。

Fuchsine (Basic)は精製不十分なアニリンとトルイジン異性体混合物を加熱することで得られた染料で、Fig.1の構造式でR2のみにメチル基をもつ構造がBasic Violet 14 (m/z 303)とされるが、混合物であることが知られている。現在市販されている標品のMSスペクトルからは、アニリンとトルイジンの反応生成物であるm/z 303のピークと、トルイジンのみで生成するm/z 317が認められた。更にアミノキシレン存在下での反応生成物であるBasic Violet 2 (m/z 331)のピークも観察された。1930年頃の染料標本帖からFuchsineで染めたと考えられる資料を選び、その染料抽出液のESI-MSを測定した(Table 2)。その結果、CFGではトルイジンとアミノキシレンを分離したうえで複数の染料を作り分けていたが(資料①、②)、バイエルでは両者が混在したと考えられる組成を示し(資料③、⑤)、製造会社による合成方法の違いを容易に明らかにすることが出来た。

文献
1) 佐々木良子・佐々木健，考古学と自然科学 **59**, 83-95 (2009)
2) 佐々木良子・佐々木健，日本文化財科学会第26回大会研究発表要旨集 54-55 (2009)

Table 1 Structures and ESI Mass Spectrometric Analysis of Synthetic Dyes

Dye name	C.I. Number	Discovered year	Mass Formula	Cassification	Chemical structure	mode	Observed mass (m/z)	MSMS Product
Martius Yellow 2,4-Dinitro-1-naphthol (Acid Yellow 24)	10315	1856	234 C10H6N2O3	Nitro Acid		nega	233	203, 173
Auramine O (Basic Yellow 2)	41000	1883	267 C17H21N3	Diphenyl-methane Basic		posi	269	148,122
Aniline Violet Methyl Violet (Basic Violet 1)	42535	1861	373 C25H30N3	Triphenyl-methane Basic		posi	373 359 345 331	252,357→341 342 329,237 315,223
Fuchsine Basic (Basic Violet 14)	42510	1856	302 C20H20N3	Triphenyl-methane Basic		posi	331 317 303 289	223 223,209 210,196 196
Patent Blue V (Acid Blue 1)	42045	1902	545 C27H32N2O6S2	Triphenyl-methane Acid		posi nega	546 560 543	396 543 463
Neptune Green Patent Green (Acid Green 9)	42100	1888	702 C37H34N2O6S2Cl	Triphenyl-methane Acid		nega	755 733 719 701	672,621,530
Rhodamine B (Basic Violet 10)	45170	1887	444 C28H31N2O3	Xanthene Acid		posi	444	399
Erythrosin (Acid Red 51)	45430	1876	836 C20H8I4O5	Xanthene Acid		posi nega	837 835	710,583 791
Uranine Fluorescein (Acid Yellow 73)	45350	1879	332 C20H12O5	Xanthene Acid		posi nega	334 331 287	316 288
Eosine (Acid Red 87)	45380	1874	648 C20H6Br4O5	Xanthene Acid		nega	647 323 Z=2	603, 523, 521 601, 523, 301
Phloxine B (Acid Red 92)	45410	1882	786 C20H2Br4Cl4O5	Xanthene Acid		posi nega	787 785	704
Safranine (Basic Red 2)	50240	1859	315 C20H19N4	Acridine Basic		posi	316	299
Quinoline Yellow (Acid Yellow 3)	47005	1882	352 C18H10NO5S	Quinoline Acid		nega	352	288
Indigo Carmine (Acid Blue 74)	73015	1890 patented	422 C16H10N2O8S2	Indigo Acid		nega	421 210 Z=2	341 355,340
Chrysoidine (Y) (Basic Orange 2)	11270	1876	213 C12H13N4	Azo Basic		posi	212	196,77,106,122
Bismarck Brown Vesuvine BA (Basic Brown 1)	21000	1863	347 C18H18N4	Azo Basic		posi	348 228	227
Tertrazine (Acid Yellow 23)	19140	1884	465 C16H9N4O9S2	Azo Adine Acid		nega	233 Z=2 155 Z=3	211 210,198,171

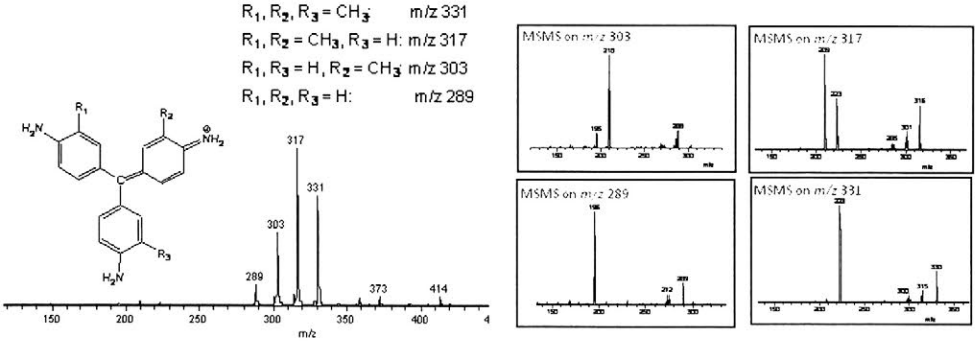


Fig. 1 MS and MS/MS analyses of Fuchsine basic (Basic Violet 14)

Table 2 Observed molecular masses of Fuchsine dyes in old commercial dye sample book

Sample	Relative intensity of observed mass (%)			
	289	303	317	331
① CFG (独逸染料合名) 82 Brilliant Mazenta	0	0	20	100
② CFG (独逸染料合名) 83 New Mazenta	30	100	80	10
③ Bayer (井上喜商店) 13 Diamond Mazenta	15	80	100	45
④ Bayer (井上喜商店) 14 Cosmos Mazenta	25	100	90	20
⑤ Bayer (井上喜商店) 15 Cerise	25	80	100	65
⑥ Standard Fuchsine (basic) (Nacalai)	15	50	100	73

CFG: Chemiche Fabrik Griesheim Elektron

膠のコラーゲンのMALDI質量分析による動物種の同定

○宮路　淳子・中沢　隆・松尾　良樹・高田　将志・鈴木　孝仁・舘野　和己（奈良女子大学）・山崎　雄三（島津製作所応用技術部）・河原　一樹（大阪大学大学院薬学研究科）

1. はじめに

コラーゲンは皮製品や動物組織にとどまらず、原材料の形態を全く残さない抽出物の膠またはその加工品として広く古代史資料に分布する。コラーゲンは膠の主成分のタンパク質であるが、八千万年前の恐竜の骨から抽出され、その驚くべき安定性により、アミノ酸配列から恐竜の進化上の位置まで特定された[(1)]。ヒトやウシにはそれぞれ30種類以上の機能の異なるコラーゲンが知られており、構造的には骨や表皮に多量に存在するI型をはじめとする繊維性コラーゲンと、血管内皮細胞が生産する非繊維性のVII型コラーゲンなどに分類される。繊維状のI型コラーゲンはα-1が2分子、α-2が1分子の3分子がらせん状に撚り合わされた3本鎖構造であり、α-1とα-2コラーゲンの間でも微妙にアミノ酸配列が異なる。さらに、同じα-1 コラーゲンでもアミノ酸配列は動物種毎に異なるので、適当な方法でアミノ酸配列の違いが読み取れれば膠の原料となった動物種を特定することができる。

最近、生物学や医学分野で発展が著しいプロテオミクスは、生体内で発現されるタンパク質とその生体機能の関連を網羅的に解析する学問分野である。我々は、古代から筆記用具として用いられてきた墨に煤の固着材として約 40%含まれる動物膠の原料を特定するために、プロテオミクスでタンパク質の同定に用いられているマトリックス支援レーザー脱離／イオン化（MADLI）質量分析法による。

2. 試料および実験法

試料：市販の油煙墨（奈良・古梅園）と、江戸時代の墨である。江戸時代の墨は、古梅園が西暦 1742 年（清・乾隆6年）に清国徽州の印工が作った墨型を長崎で入手し、これを用いて成形したとの記録が『古梅園墨譜』に残っている（図1）[(2)]。

図1　江戸時代の墨（奈良・古梅園製）

コラーゲンの抽出と質量分析：墨（約 10 mg）を刃物で削り、乳鉢中で 100 mM 炭酸水素アンモニウム（NH_4HCO_3）緩衝液 1 mL とともに粉砕し、墨汁液状にする。この液を溶液 A とし、別の容器に移した後、乳鉢に残った内容物を 1 mL の 100 mM NH_4HCO_3 緩衝液で洗浄し、得た液 B と溶液 A を合わせて保存液 C とする。保存液 C 500 mL を、100 mM NH_4HCO_3 緩衝液で洗ったシリンジフィルター（Whatmann/GDX-PTEE 0.2 mm 径）でろ過し、ろ液を1時間 60°C で静置し、コラーゲンを変性させる。この液を室温に冷却後、10 mL のトリプシン溶液（10 mg/mL 100 mM NH_4HCO_3）を加えて、37°C で 16 から24時間、酵素消化する。酵素消化によって生じるペプチド断片の混合物の溶液 10 mL に 40 mL の 0.5%トリフルオロ酢酸水溶液を加えて酸性にし、ZipTip-C_{18} で脱塩して試料溶液 D とする。MALDI サンプルプレート上で溶液 D 1 mL とマトリックス溶液（α-シアノ-*p*-ヒドロキシ桂皮酸のアセトニトリル溶液）40 mL とを混ぜてから乾燥し、MALDI タンデム飛行時間型（TOF/TOF）質量分析装置（Axima Performance; Shimadzu/Kratos, Manchester, UK）を用いて MALDI-TOF で PMF 分析を、ヘリウムガスによる衝突誘起解離（CID）に基づく MALDI- TOF/TOF で MS/MS イオンサーチ分析をそれぞれ行った。

3. 結果および考察

『古梅園墨譜』によれば、図 1 に示した墨は乾隆 6 年(1741 年)に製造されたものであるから、含まれている膠の製造年代も今から 270 年余り前となる。膠の原料となった動物種の解明が本研究の主旨であるが、この間にコラーゲン分子の受けた物理、化学変化にも興味が持たれる。図 2(B)にこの膠のトリプシン消化物の MALDI 質量スペクトルを示した。スペクトル(A)の主要なピークについて行った MS/MS イオンサーチ分析の結果、この膠はウシ・I 型コラーゲンと同定できた。例えば、*m/z* 1976 のピークはアミノ酸配列 SGDRGETGPAGPAGPIGPVGAR をもつペプチドに相当し、他の動物で同一の配列をもつものは少なくともデータベース上にはない。スペクトル(A)と(B)を比べると、ほとんどすべてのピークが誤差の範囲内で一致している。すなわち、江戸時代の墨も牛膠を使用していたと結論できる。

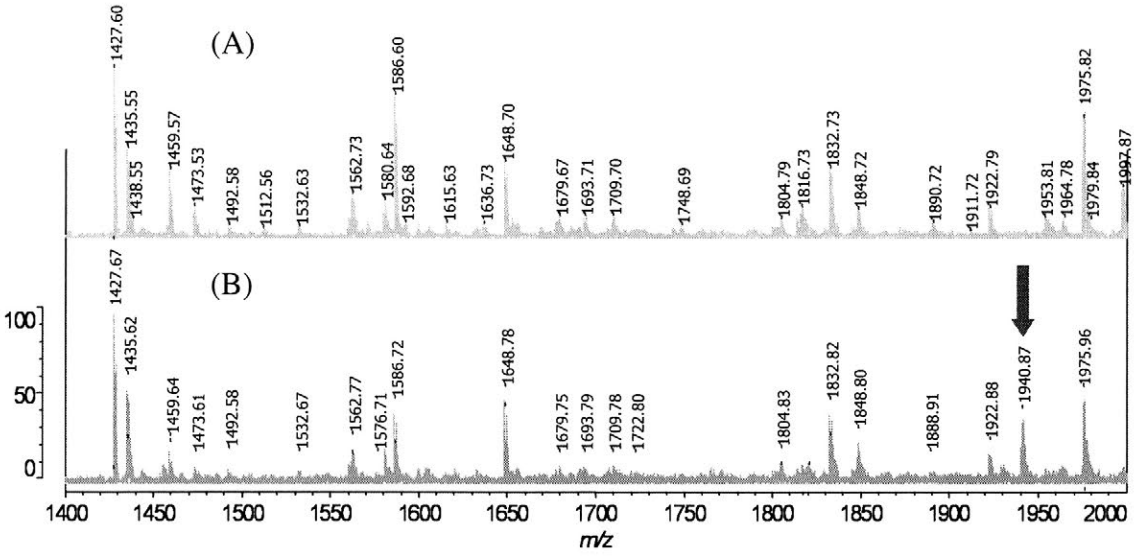


図 2 現代の墨(A)と江戸時代の墨(B)から得たコラーゲンのトリプシン消化物の MALDI-TOF 質量スペクトル(*m/z* 1400-2000 の領域を拡大)。江戸時代の膠(B)にのみ *m/z* 1941 のピーク(矢印)が見られた。また *m/z* 1998 のピークは現代の墨の膠(A)に現れた。

しかし、スペクトルの細部には違いも見られる。最も明確な違いは、江戸時代の試料のスペクトル(B)にのみ観測された *m/z* 1941 のピークである。分析データは示さなかったが、このピークの TOF/TOF 解析結果に一致するアミノ酸配列をもつタンパク質は Mascot データベース検索で見つからなかった。Mascot 検索はトリプシン分解が正常に進行し、タンパク質がリジン(K)あるいはアルギニン(R)の C 末端側で切断されることを想定しているため、もし、経年劣化によりコラーゲンのペプチド結合がある特別なアミノ酸残基の位置で分解を受けたとすると、検索が不調に終わっても不思議ではない。また、コラーゲン特有の架橋構造もデータベースに登録されていないので、検索で見落とされた可能性がある。いずれにしてもこのピークについてさらに解析を進める必要がある。

牛膠の「三千本」や「鹿膠」が日本画の、また兎膠が西洋画(テンペラ)の画材となることから、ここで述べた墨に含まれる膠の分析法の研究対象は、墨書から絵画に広げられる。さらに接着剤に膠を使った仏像や木工芸品など広範囲の文化財も今後研究対象としたい。

参考文献

(1) Schweitzer, M. H. Zheng, W., Organ, C. L., Avci, R., Suo, Z., Freimark, L. M., Lebleu, V. S., Duncan, M. B., Heiden, M. G. V. Neveu, J. M., Lane, W. S., Cottrell, J. S., Horner, J. R., Cantley, L. C., Kalluri, R., Asara, J. M. Biomolecular characterization and protein sequences of the Campanian hadrosaur *B. canadensis*. *Science* **324**, 626-631 (2009).

(2) 松尾良樹(訳注・解説)「古梅園墨譜」, 松井淳次, 古梅園, pp. 33-34 (1993).

中世の金精錬技術に関する科学調査について
― 長野県川上村梓久保金山遺跡を中心に ―

○ 沓名貴彦（山梨県立博物館） 長﨑 治（川上村教育委員会） 村上 隆（京都国立博物館）

1. はじめに

これまで発表者らは、生産遺跡である鉱山・製精錬遺跡に着目し[1]、山梨県内の中世金山遺跡である黒川金山遺跡（甲州市）、中山金山遺跡（身延町）や、中世城館跡である勝沼氏館跡（甲州市）から出土した熔融物付着土器の調査から、土器に付着した金粒の存在や、周辺に鉛やビスマスといった特徴的な元素の存在を確認し、報告を行ってきた[2),3)]。

今回、山梨県に隣接し武田氏により開発された伝承が残る、長野県川上村の梓久保金山遺跡から出土の陶器や土器に、金粒が付着した資料を新たに確認した[4)]。その詳細について報告する。

2. 長野県川上村梓久保金山遺跡について

梓久保金山遺跡は、千曲川上流部の支流である梓川中流部の東側に位置する遺跡である。対岸の長峰山中には鉱石採掘地が点在し、江戸時代には断続的に金の採掘がおこなわれ、昭和 20 年代には甲武信鉱山として金・銀・鉄が採掘された記録が残っている。

これまでの発掘調査から、鉱山臼の挽き臼や、磨り臼、磨り石、凹み石のほか、陶磁器片や土器片、鉱滓、ゆり滓等が出土した。特に鉱山臼類には、山梨県黒川金山遺跡に類似する点が多く認められ、遺跡の時期は出土陶器片や銭貨等から、16 世紀末から 17 世紀初めと考えられている。

3. 今回の調査について

調査は、これまでの報告と同様に出土資料に対して非破壊分析手法により実施した。

・ 光学顕微鏡による観察
資料表面の金粒の有無について、光学顕微鏡を用いて詳細に観察を行った。

・ X 線透過撮影による元素の分布状態の確認
金粒付着資料に対し X 線透過撮影を行い、土器に付着している元素の分布状態を調査した。

・ 蛍光 X 線分析（XRF）による元素分析
金粒付着資料の金粒付着部分に対して、XRF を用いて元素分析を行った。

・ SEM-EDX による元素分析
資料の金粒周辺について、SEM-EDX のマッピング分析を用いて元素の分布状態を調査した。

4. 調査結果

遺跡出土の陶器・土器の内、陶器 3 点、土器 3 点について顕微鏡観察で金粒が確認された。金粒は大きいもので直径約 0.5mm、小さいものは 20μm 以下の大きさであった。

資料に対し X 線透過撮影を実施したところ、殆どの資料で金粒以外に特徴的な陰影が確認され、この陰影は重元素の付着によるものと考えられた（図 1(a)、(b)参照）。

そこで、金粒とその周辺について XRF を用いて元素分析を行うと、殆どの資料で金や銀、ビスマスなどが特徴的に検出された。他にも、テルルやコバルト、ニッケルといった元素も検出されるものも存在した（表 1 参照）。

そして、SEM-EDX を用いて資料 No.1 のマッピング分析を行ったところ図 2 が得られ、金粒周辺に様々な元素の付着が見られた。

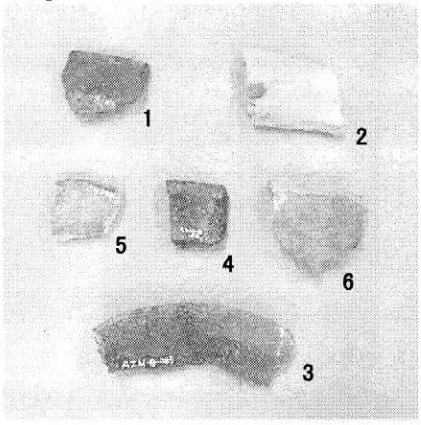
5. まとめ

今回、梓久保金山遺跡出土の金付着資料への科学調査の結果、梓久保金山の山元において金の製錬作業が行われていたことが新たに示された。

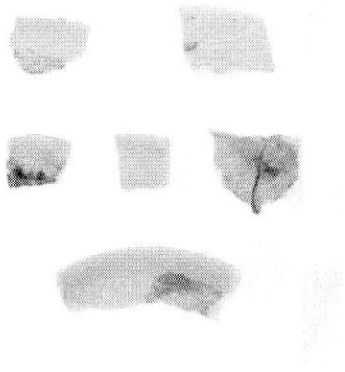
以前、黒川金山遺跡出土土器や勝沼氏館跡出土土器にビスマスが特徴的に付着を報告したが、梓久保金山遺跡出土資料にもビスマスの付着が殆どに見られた。黒川金山遺跡と梓久保金山遺跡は、山梨・埼玉・長野の県境である甲武信岳をはさみ約 30km 程度と近いため、同じような鉱脈と考えられる。

今後、さらに資料に付着した元素のより詳細な分析や、鉛を用いた製精錬技術の検討、土器・陶器使用の理由について調査を行う必要がある。

参考文献
1) 村上「金属生産遺跡としてみた甲斐金山遺跡群 —その調査のあり方—」甲斐金山展図録、p24-25、2009
2) 沓名, 鈴木, 谷口, 萩原, 村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —甲斐金山遺跡を中心に—」日本文化財科学会第25回大会発表要旨集、p98-99、2008
3) 沓名, 鈴木, 谷口, 萩原, 室伏, 村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —国指定史跡勝沼氏館跡を中心に—」日本文化財科学会第26回大会発表要旨集、p246-247、2009
4) 長崎, 沓名「長野県川上村梓久保金山遺跡出土の金粒等付着陶器・土器について」長野県考古学会誌、131·132 合併号、p58-64、2010

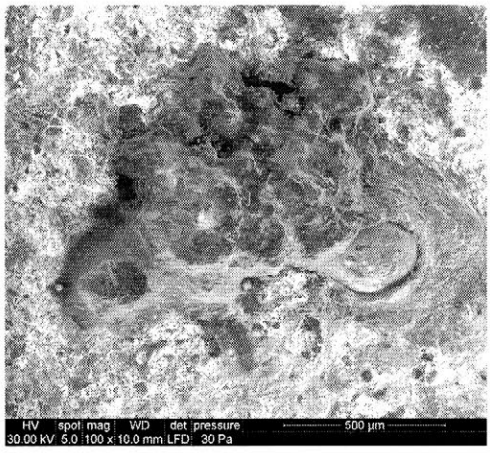


(a) 資料写真

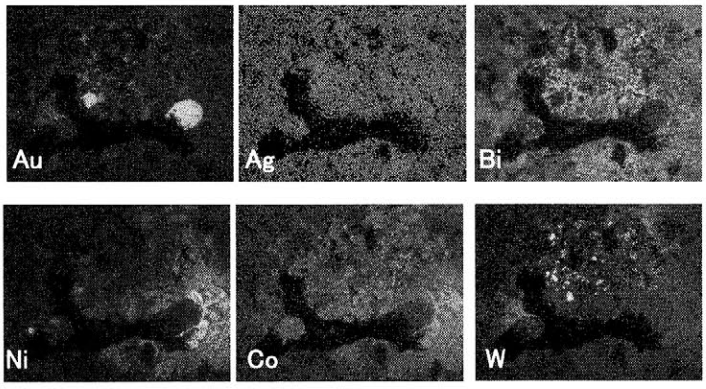


(b) X線透過画像

図1. 金粒付着資料写真とX線透過画像



(a) SEM 画像



(b) EDX マッピング画像

図2. 金粒周辺のSEM-EDX像（資料No.1）

表1. 金粒周辺においてXRFにより検出した特徴的な元素

資料No.		1	2	3	4	5	6
検出元素	Au	+++	+++	+++	++	+++	+++
	Ag	+	++	+		++	++
	Cu		+				
	Bi	++	++	+++		++	+++
	Pb						
	Te		+	+			+
	Co	+					
	Ni	++					
	W	+					

注1：表中の表記は、＋＋＋＞＋＋＞＋の順で検出量が高いことを示す。
注2：付着の金粒は大きさが大小するため、分析で検出した元素は、金粒及びその周辺表面に存在する元素である。

唐代兵役文書紙質分析が明かす東伝製紙術と西伝製紙術の違いの起源

○江南 和幸*, 坂本 昭二*, 岡田 至弘*, 大木 彰**, 増田 勝彦***
*龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター, **龍谷大学図書館, ***昭和女子大学

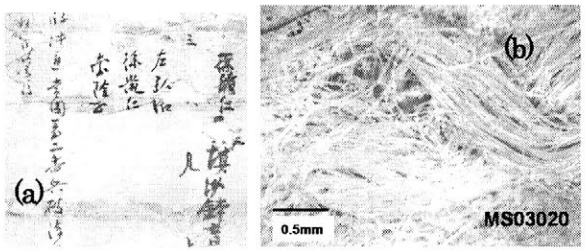
緒言 よく知られているように, およそ紀元前２世紀に中国に発した原初の製紙術は, ぼろ麻布などすでに繊維となったものを原料とし, その繊維をフィブリル化して薄いシートを作る方法であった. 紙需要の増大に応えるために, 紀元4世紀後半以降, 植物繊維そのものを抽出し紙原料とする技術革新が出現すると, 製紙術は中国中原から周辺地域, さらには東アジアに広がり, 610 年に日本に到達した製紙術は大麻, 楮などの植物繊維から作る洗練され完成された製紙術であった. 一方, 751 年唐の安西節度使高仙之の軍がタラスでアラブ軍との衝突に敗れ捕捉された紙漉工からアラブに伝わった製紙術はぼろ布を原料とする原初の製紙法であった. さらにアラブから 12～3 世紀にヨーロッパに伝わった製紙術は, 原初の製紙術であるぼろ布を原料とするものであり, 以後 19 世紀初頭にヨーロッパで木材パルプによる近代製紙法が誕生するまで, 西方諸国では 1000 年以上もの長い間ぼろ布原料の製紙術のみが行われていた. 上の東伝製紙術と西伝製紙術の違いはなぜ起こったのか. 製紙技術の歴史研究はこのことを必ずしも明らかにしていない[4]. 今回, 主としてトルファン地方で発見された大谷コレクションの唐代の古文書の紙質分析から, 唐代の辺境軍隊の兵役関連文書の用紙の中にその原因を探った.

方法 大谷コレクション西域文書断片を収録する 3 冊の出版物[1～3]所載の唐時代とされる文書のうち, 「兵役文書」に分類される文書 28 件 (30 点), 「官庁文書, 民間使用文書, 高昌國文書」合計 23 件の文書断片を, キーエンスデジタル顕微鏡 VHX-500 により詳細に観察し, 紙表面モルフォロジー, 紙表面に残る夾雑物, 植物遺物を分析した. 見出された布, 糸についても 500 倍で観察し, 繊維の特徴から原料植物を判別した.

結果 **(1) トルファン地域唐代兵役文書に見るぼろ布由来紙資料**

Fig.1(a)は垂拱４ (688) 年の紀年のある兵役文書 (MS03020) で(b)に見られるように太い大麻糸片が多数みられる. 同地域の兵役文書に見られる典型的な粗末な用紙である.

Fig.2 はトルファン地域の兵役文書(a)で時代は上より 50 年程度下ると思われるが, 同様に藍染の青衣断片が見つかっている(b). 青衣は下級兵士の衣服であるので, 兵営の中で不要になった古着が利用されたとも考えられる. 青衣断片のある兵役文書はこの他２点見つかっている. この事実は用紙が外部から調達したものではなく, 兵営の中で作られていたことを示す.



Fi.g1 唐代トルファン地域兵役文書と紙中の糸片

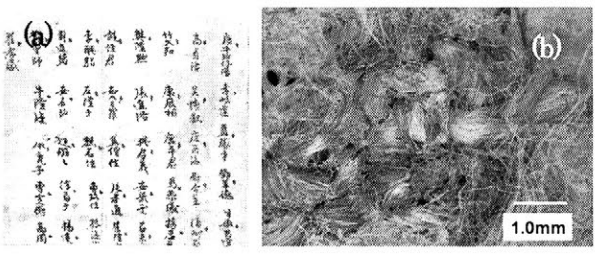


Fig.2 唐代兵役文書(MS03028)に見つかった青衣断片

(2)敦煌の軍隊文書にみる用紙

兵役文書に分類されるものの中でぼろ布由来の紙でないものが数点見つかった. その中には明らかに楮紙の特徴をもつものがある. Fig.3 は豆盧軍の名が記された軍事文書である. 発見された場所はトルファン

であるが，長安2（702）年の紀年のある敦煌地方の文書である．この用紙からは，布片，糸片は見出されていない．繊維は直線的で靭に包まれ，典型的な楮紙であることが分かる．トルファンから約 500km 東の敦煌は唐の統治が十分およぶ西方の要衝であり，トルファンにくらべ物資が豊であったことが，軍事文書に楮紙が使われていた理由であろう．同じ兵役文書でも，唐西域最前線のトルファンと要衝都市の敦煌とでは，紙に至るまで異なる物質的環境にあったことを示すと思われる．今回分析した兵役文書28件の紙片のうち，ぼろ布を原料とする紙と確認された文書は23件であったが全てトルファン地域の軍隊の文書であった．

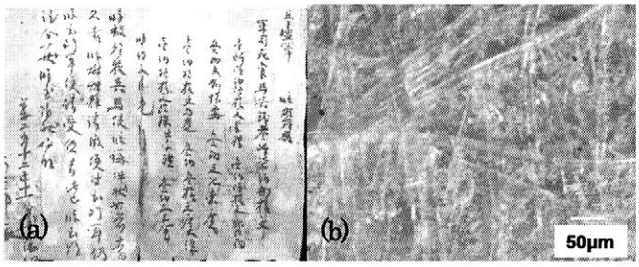


Fig.3　長安2(702)年の敦煌豆盧軍文書(MS02840)．唐時代の典型的な楮紙である（同様な豆盧軍文書は他に2点ある）．

(3)トルファン，敦煌地域の官庁・民間文書用紙

西州高昌県の官庁文書12件のうち，ぼろ布由来の紙は 4件であった．民間の用いた文書は,長安4年（704年）の詩稿1件(敦煌：楮紙)と西州高昌県の有力一族周氏の納税関係書類 8 件からはぼろ布由来の紙は見出されていない．6～7 世紀の高昌國の文書4件のうち3件は桑皮紙，1件はぼろ布片を含むが基本的には大麻そのものを原料とする大麻紙であった．Fig.4 は天寶 2(749)年の紀年のあるトルファン地方の官庁文書であるが，典型的な唐時代の大麻紙である．

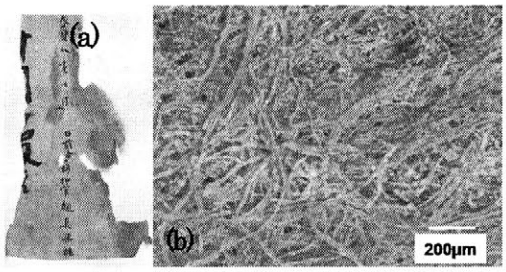


Fig.4　天寶 2(749)年の官庁文書断片（MS 03122）(a)．典型的な唐時代の大麻紙である(b)．

まとめ

今回，主としてトルファン地方で発見された大谷コレクションの唐代の古文書の紙質分析から，唐代の最辺境の軍隊で長期間にわたり用いられていた兵役関連文書の大多数が原初のぼろ布を主原料とする紙であり，同時代の官庁文書と民間の文書の紙の大多数が大麻，楮など植物繊維を原料とする紙であること，さらには敦煌の軍隊の用紙すら上質な楮紙であったことと比べ著しい違いがあることが見出された．以上の結果は，751 年唐の安西節度使高仙之の軍がタラスでアラブ軍との衝突に敗れ捕捉された紙漉工からアラブに伝わった製紙術がぼろ布を原料とする原初の製紙法であったことをよく説明するものである．西伝製紙術は前線ですぐに調達可能な原料であるぼろ布を用いた紙を供給したトルファン地域の軍隊の兵站にその起源があることを強く示唆する．

文献

[1] 大谷文書集成第一巻　龍谷大学善本叢書5，小田義久編，法藏館，1984年
[2] 大谷文書集成第二巻　龍谷大学善本叢書10，小田義久編，法藏館，1990年
[3] 大谷文書集成第三巻　龍谷大学善本叢書23，小田義久編，法藏館，2003年
[4]中國製紙技術史　潘吉星著，日本語訳　佐藤武敏，平凡社，1980年

形態観察と高解像度X線CT画像解析による出土おにぎりの検討

○ 佐々木由香・バンダリ スダルシャン・米田恭子(株式会社パレオ・ラボ)、
村田健太郎・小石川 篤(株式会社マイクロスコーピックスキャン)、西田治文(中央大学理工学部)、古屋紀之((財)横浜市ふるさと歴史財団埋蔵文化財センター)

1.はじめに

横浜市北川表の上遺跡の古墳時代後期に属する竪穴住居址の床面から、約15cm角の直方形の炭化した種実塊が出土した。この塊は調理後の「ごはん」であることが推定されたため、炭化種実塊の外面からの形態観察とX線CT画像解析を行って内部構造を観察し、どのような状態で炭化したのかを検討した。また、本要旨の分析結果の詳細は佐々木ほか(2009)を参照されたい。

1. 分析試料と方法

試料は古墳時代後期(鬼高式期)の40号住居址から出土した炭化種実塊である。この住居址からは塊のほかに種実塊の破片と、炭化種実塊以外で単独出土した種実が発掘調査時に取り上げられた。炭化種子塊およびその破片の出土位置は柱穴のそばの床面直上である。

炭化種実塊の観察は肉眼および実体顕微鏡下で行い、種実塊の側面および底面に付着していたかご状の植物遺体は横断面を走査型電子顕微鏡で観察して素材の同定を行った。X線CT画像撮影は種実塊を乾燥後、X線顕微CT装置(マイクロスコーピックスキャン社製 XMS-IS230)を用いて、X線管電圧160KV、X線管電流0.005mA、オフセットヘリカルスキャンモードにてCTスキャンを行った。三次元画像は、ボリュームレンダリングソフトウェア(Volume Graphics社製 VGStudio MAX)を用いて作製した。

2. 結果

炭化種実塊は表面観察の結果、すべて玄米に近いイネの種子(胚乳)で、果実(籾)はなかった(以下炭化米塊とよぶ)。炭化米塊は長軸14.5cm、短軸13.0cm、高さ9.2cmのほぼ直方形を呈す。表面のイネ種子は、平坦面が形成され、潰れや糊着しているものが多い。それに対し、割れた面など、内部が観察可能な箇所では一粒ごとの形状が判別でき、粒の方向はランダムであった。側面方向と、上面から底面にむかって断面を撮影したX線CT画像を解析した結果、表面側は粒同士が糊着し、密度が高く、形状不明の粒が多いのに対し、内面側は糊着せず粒の形状を保っていた。X線CT画像の白い部分はイネ種子を示し、黒い部分は種子の内部や空隙を示す。側面からのX線CT画像をみると、断面は上下と左右にほぼ2分割され、4つの塊が判別できた(図版1)。

なお、炭化種実塊の底面および側面に付着していたかご状の素材は同定の結果、単子葉植物Bであった。ひごの残存部の形状観察の結果、1本1単位の2本飛び網代で組まれた直方形のかごと推定された。かごの下の底面のみに樹皮が付着していたが、針葉樹か広葉樹の樹皮かは不明であった。さらに樹皮の外側にほぼ同じ方向で数本まとまっている径2.1mmの細い管状の植物が付着し、その素材は単子葉植物Aであった。

3. 考察

住居址内でイネが塊で炭化する原因として、住居内部に備蓄していた米が炭化したか、調理途中あるいは調理後に炭化したことが考えられる。炭化米塊はすべてイネ種子であり、果実(籾殻)が付着した状態ではなく、籾すり後の状態で炭化したのは明らかである。イネは表面の溝が明瞭であることから玄米と思われる。塊の側面および底面には編組製品の圧痕ないし、割り裂かれたひごの一部が付着している状態から、米が柔らかい状態で付着したと考えられる。つまり、「直方形の容器に入っていた炊かれた米が炭化した」と判断できる。また表面の容器に接していたと推定される部分では平坦に潰れた粒が複数みられ、粒の方向は不揃いで糊化して付着している様相が認められる点からも、米が炊かれた状態であったと推定される。

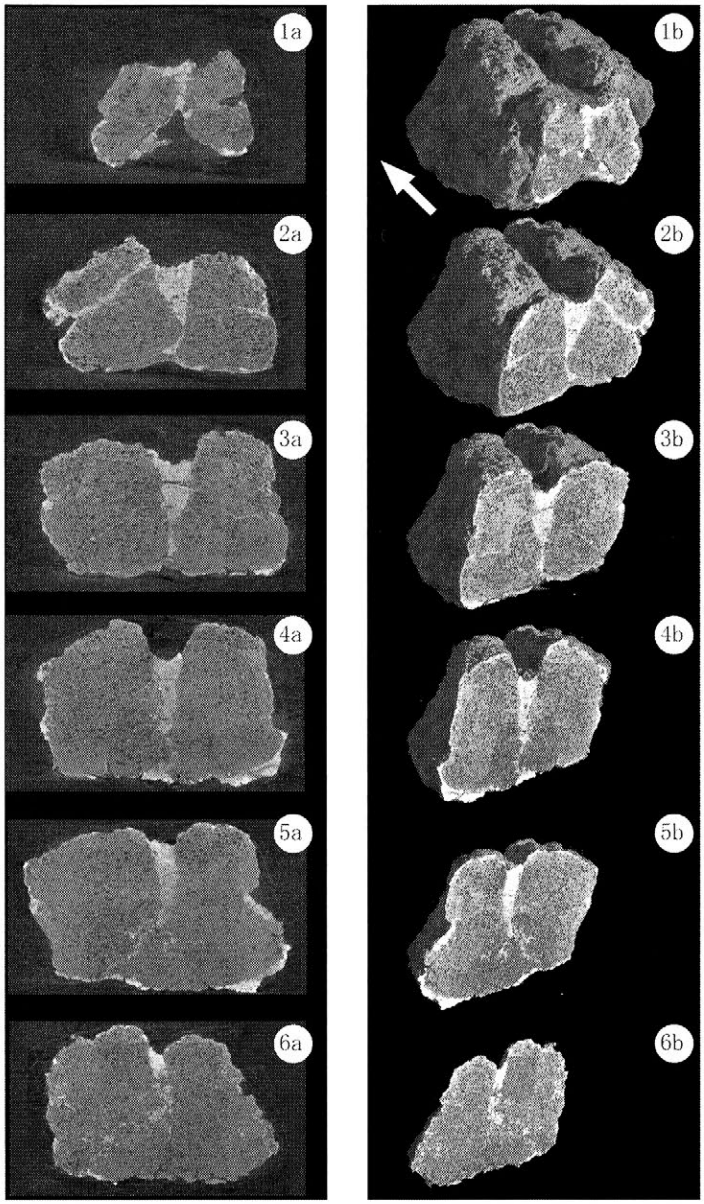
炭化米塊内部についてX線CT画像による解析を行ったところ、空隙に詰まった土壌以外の箇所のすべての断面において密に種子が詰まっている状況が確認された。内部構造の観察の結果、梅干しや

具材などのようなイネ以外(イネより大きな植物)のものの痕跡は観察できなかった。ただし、内部にイネより小さい種実があった場合はX線CT画像の解像度からは読み取ることができない。

以上の観察結果から、炊いた米が具材を混ぜることなく、直方形のかごの中に入った状態で炭化したと考えられる。また側面内部のX線CT画像から、4つに分割しており、上下左右約半分のところで分割されている溝の位置が変化することや、上面の形状を観察すると4つに分かれるような形状をしていることから、かごの中には8つの塊、すなわち「おにぎり」があった可能性がある。直方形のかごは炊飯時に米を炊く道具である甑内に入れられたか、櫃のように炊いた米を入れたか、弁当箱のように用いられたかなど複数の可能性が考えられるが、これまでの遺跡出土例では直方形のかご内に米が入った状態で出土した例はなく、断定できない。民俗例等からみても、直方形の櫃や調理時に用いる方形の容器は少なく、かつ炭化米塊の出土位置がカマドからやや離れた柱穴のそばであったことを考慮すると、弁当箱のような機能があったかもしれない。炭化米塊は8つの俵形の「おにぎり」が詰められた「お弁当箱」になろうか。容器の下に敷かれた樹皮や細い単子葉植物の用途は不明だが、住居内の敷物の素材としては細いため、敷物に付着したのではなく、なんらかの用途で容器に伴っていたと推察される。細い単子葉植物はスダレ状の敷物であったのかもしれない。

これまで遺跡における米をどのような状態にして食べていたかといった調理後の米に関する資料は全国的にみても非常に少ない。まして容器に入った調理後の米はこれまでに発見されていない。今回調査した炭化米塊は当時の食生活を知る上で貴重な資料になると考えられる。また外部形態の観察のみでは炭化米塊内部の具材の有無や米粒以外の種についての検討は不可能であり、高解像度CT画像による観察が有効である。

今回分析に用いたX線顕微CT装置(マイクロスコーピックスキャン社製 XMS-IS230)は従来機とは異なり、米粒単位の解析が可能であるため、炭化米塊だけでなくほかの植物質の遺物に対しても、その応用の将来性を示したい。



図版1　炭化米塊のX線CTスキャン画像（佐々木ほか2009）　2cm

1. 側面から27.2mm、2. 側面から40.3mm、3. 側面から64.2mm、4. 側面から82.7mm、5. 側面から98.7mm、6. 側面から114.0mm　a：スキャン方向断面（X軸）、b：スキャン部分3D画像（各X軸・Y軸・Z軸写真の合成）矢印はスキャン方向を示す（スケールはaのみ対応）

引用文献

佐々木由香・バンダリ スダルシャン・米田恭子・村田健太郎・小石川 篤(2009)北川表の上遺跡出土炭化種実同定および炭化種実塊のX線CT画像解析による検討. 財団法人 横浜市ふるさと歴史財団 埋蔵文化財センター編「港北ニュータウン地域内埋蔵文化財調査報告42 北川表の上遺跡」:423-435. 横浜市教育委員会.

FTIR を用いた天然樹脂・乳香と薫陸の判別

○中村力也，成瀬正和（宮内庁正倉院事務所）

1．はじめに

正倉院には、様々な素材により製作された８世紀の工芸品が伝世している。我々は、正倉院の工芸品に使用された接着剤の材質調査を進めており、これまでに、古代の接着剤として、デンプンやニカワ、天然樹脂が用いられていることを見出した。[1]しかし、天然樹脂接着剤の樹脂種は、古代文献に記された「薫陸（くんろく）」であると推定されたが、特定には至っていない。古代の薫陸は、現代の市販されている薫陸（起源植物：*Pistacia khijuk*）と同じであるとする説や、乳香（起源植物：*Boswellia* sp.）であるとする説などがあるが、科学的には証明されていない。

本研究では、正倉院に伝わる天然樹脂接着剤の樹脂種の特定を目的として、フーリエ変換赤外分光（FTIR）装置による現代の薫陸と乳香の判別について検討する。また、正倉院薬物として８世紀より伝世した「薫陸」を FTIR 分析し、古代の薫陸の樹脂種を明らかにするとともに、正倉院の工芸品に使用された天然樹脂接着剤の樹脂種についても言及する。

2．調査対象ならびに方法

2－1．正倉院宝物

本調査の対象宝物を図１に示した。正倉院薬物「薫陸」は、古代の薫陸に相当する樹脂であり、８世紀より正倉院に伝世する樹脂塊である（図１A）。螺鈿片は、「螺鈿紫檀五弦琵琶」ならびに螺鈿背鏡からの剥落片であり、それらの裏面には接着剤が残る（図１B, C）。玳瑁片は、「楓蘇芳染螺鈿槽琵琶」からの剥落片であり、玳瑁片に付く伏彩色の描かれた紙片の裏面には接着剤が付着している（図１D）。水晶玉は、「礼服御冠残欠」の金銅製装飾からの剥落片であり、裏面には接着剤が残る（図１E）。

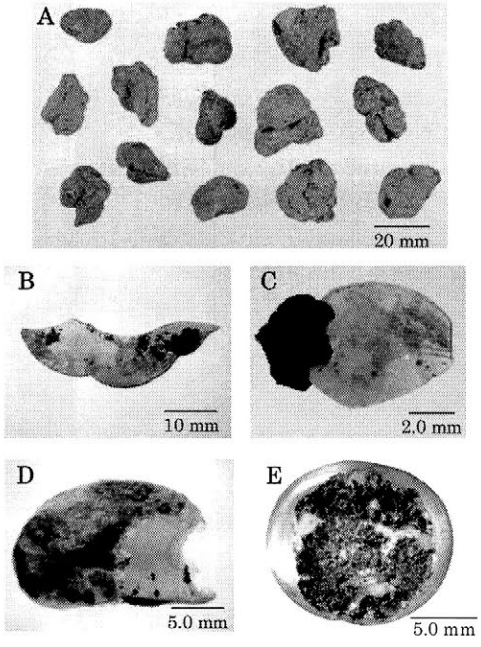


図１　調査対象試料：(A) 正倉院薬物「薫陸」；(B)，(C) 螺鈿剥落片；(D) 玳瑁剥落片；(E) 水晶玉剥落片

2－2．標準比較試料

薫陸（起源植物：*Pistacia khijuk*）、乳香（起源植物：*Boswellia carteri*）は、それぞれ山田松香堂（京都）、パレット（東京）より購入し、標準比較試料とした。

2－3．分析機器

分析機器として、バイオラッド社製 FTS－135 に UMA－500 を付属させた顕微 FTIR を用いた。測定は、顕微カセグレン鏡に装着したゲルマニウム結晶の全反射吸収（ATR）測定法により実施した。スペクトルの２次微分処理では、Savitzky-Golay アルゴリズムを用い、１点の微分値を計算するために用いるデータ点数は９点とした。

3．結果と考察

3－1．現代の薫陸と乳香の判別

現代の薫陸と乳香のFTIRスペクトルを図２に示す。生データのFTIRスペクトルにおいて、1459, 1382, 1247 cm^{-1}には薫陸と乳香に共通するバンドがみられた（図２A）。また、現代の薫陸と乳香のスペクトルには、共に1800～1600 cm^{-1}と1200～950 cm^{-1}に幅広いバンドがあるため、薫陸と乳香の判別は困難であった。そこで、幅広いバンド中の隠れた弱いバンドを検出するため、スペクトルを２次微分処理し、解析した（図２B）。現代の薫陸の２次微分スペクトルには、乳香にはない特有のバンドが、1702, 1107, 1038, 1000 cm^{-1}にみられた。一方、乳香の２次微分スペクトルでは、1710, 1082, 1030, 991 cm^{-1}に、特有のバンドが検出された。したがって、FTIRの２次微分スペクトルにより、現代の薫陸と乳香とは区別できることがわかった。

３－２．古代の薫陸の樹脂種

正倉院に伝世する「薫陸」の２次微分FTIRスペクトルを図２Bに示す。バンドの波数やスペクトルの形状は、現代の乳香とほぼ一致した。正倉院の「薫陸」には、現代の薫陸に特有のバンド（1702, 1107, 1038, 1000 cm^{-1}）は、検出されなかった。これらの結果により、古代の薫陸は、現代の薫陸と同じではなく、乳香であることが示された。

３－３．古代の天然樹脂接着剤の分析

正倉院の工芸品由来の剥落片に付着する接着剤の２次微分FTIRスペクトルを図３に示す。螺鈿片や玳瑁片、水晶玉に付着した接着剤のスペクトルは、いずれも現代の乳香のスペクトルとほぼ一致した。したがって、正倉院の工芸品には、乳香が接着剤として用いられたことが判明した。

４．さいごに

２次微分FTIR分析により、薫陸と乳香の判別が可能であり、古代の薫陸は現代の乳香に相当することがわかった。また、正倉院の工芸品に用いられた天然樹脂接着剤の分析により、接着剤の素材が乳香であることが科学的に証明され、古代文献に記載のある接着剤「薫陸」の素材が解明された。

【参考文献】1) 中村力也, 成瀬正和, 文化財保存修復学会第31回大会研究発表要旨集, 64 – 65 (2009).

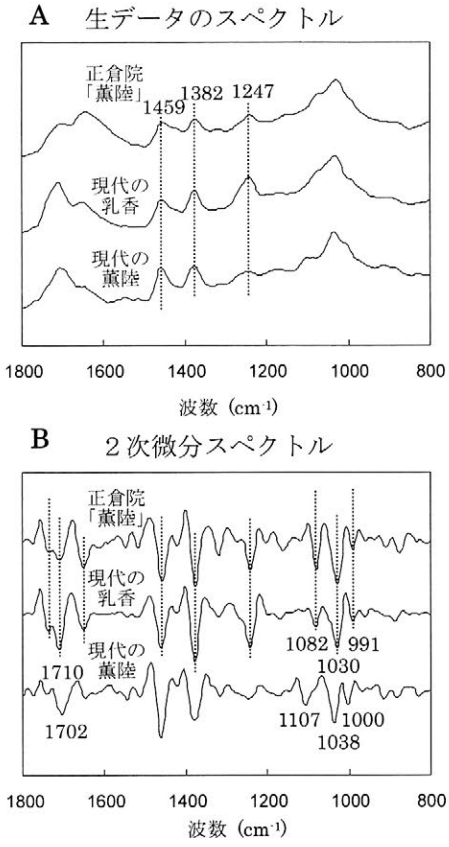


図２　現代の薫陸、乳香と正倉院薬物「薫陸」のFTIRスペクトル

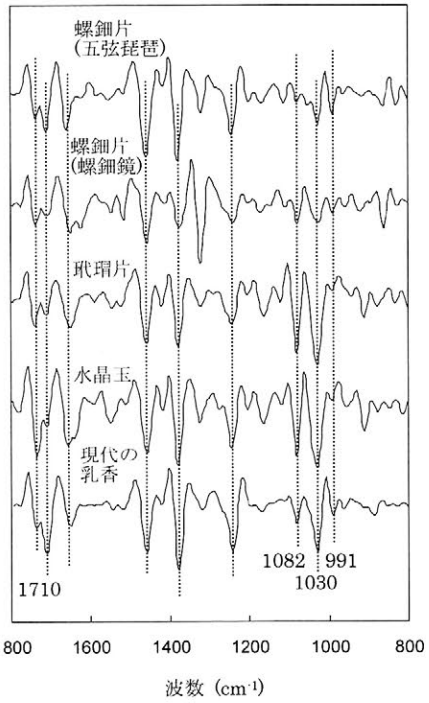


図３　現代の乳香と剥落片付着接着剤の２次微分FTIRスペクトル

東南アジアの伝統的土器つくりにおけるチュア（シャモット）の役割

○小林正史（北陸学院大学）、鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学）、
棟上俊二(福岡教育大学)、上原誠一郎（九州大学理学部）

目的： タイ東北部とラオスの伝統的土器作りでは、チュアと呼ばれるシャモットを混和して素地を作る（砂を混和しない）ことが特徴だが、この理由を解明することが本研究の目的である。東北タイ・北タイ・ラオス・雲南省西双版納タイ族自治区の土器作り村の比較分析を踏まえて、チュアの使用がどのような要素と結びつくかを検討した。

チュアはシャモットの一種と説明されることが多い。シャモットとは、陶芸用語辞典では「耐火粘土を焼成・粉砕したものであり、急加熱・急冷却に耐える素地作りに使う焼き粉」と説明されている。すなわち、粘土マトリクスと成分が同じシャモットは、砂の混和材に比べて粘土マトリクスとの熱膨張率の違いが小さいため、焼成段階での破損を抑える役割を果たす。土器焼成時の破損は、①初期の昇温段階における内・外面間や上・下間の熱膨張率の違いにより、膨張が遅れた部分が引っ張られてヒビ割れを起こすcrack initiationと②粘土マトリクスと混和材の膨張率の違いのためヒビが拡大するcrack propagation、という２つの過程からなっている。急激な昇温でのヒビ割れの生成（クラック・イニシエーション）を抑えるためには、熱伝導率を高めることが重要であり、薄手化する、粘土マトリクスよりも熱伝導率が高い素材（砂や焼き粉）を混和するという手段が用いられる。一方、ヒビの拡大（クラック・プロパゲーション）についてはやや複雑であり、大粒の粒子の存在がヒビの拡大を止める面もあるが、粘土マトリクスと砂・混和材との熱膨張率の違いが大きいと熱ストレスが溜まることから、粒径が小さく、均等な砂や焼き粉を混和してマトリクスとの膨張率の違いを少なくすることも必要である。

チュアとは： チュアは、粘土（本体となる粘土の上層の、より不純物が多い層から採取）と籾殻を２：１～１：１の比率で混ぜて長径10～20ｃｍの偏球形にし、１～数時間焼成した後、粉砕・篩い掛けした細粒状のものである。成形用粘土（チュア粘土の下層から採取）に体積比で３：１から２：１の比率で混和され、素地粘土が作られる。チュアを入れる地域では砂の混和をしない。ただし、東北タイでは、成形用粘土を水漬け後に足練りすることにより素地を作り、乾燥・粉砕・篩い掛けをしないため、生粘土に含まれていた砂が素地粘土でもそのまま存在する。

チュアは、大量の籾殻（チュア用粘土の５～10割の体積量）を混和して作る点が通常のシャモットと異なる。籾殻の多くはチュア焼成時に燃えてしまうが、燃え切れなかった粉末状の籾殻片（目には見えない）が素地粘土に多く含まれている。このため、素地粘土は指先でつぶすと滑らかさがあり、成形時の可塑性を高める効果があると思われる。また、チュア用粘土に籾殻を多量に混和することにより、焼きあがったチュアは非常にもろく、容易に細粒に粉砕できる。

東北タイ（マハサラカム県モー村）の土器の断面（写真１；白線が１mm）をみると、チュア（ｃと表示）は長径0.5mm程度で、粘土マトリクスよりもやや褐色がかった粒子として存在している。褐色を帯びているのは籾殻の燃え残りの影響と考えられる。成形用生粘土にもともと含まれていた砂粒（白色）や鉄分の塊（黒色）も一定量存在する。

タイの土器作りでは、①比較的低温の焼成での焼き締めを促進する、②赤褐色の色を出す、の２点から鉄分の多い素地が好まれる。鉄分が比較的少なめの素地を用いる北タイ・チェンマイ県ハンケオと東北タイ・ロイエット県ツータイ村では、大半の器種が外面全体にスリップ赤彩が施される。この鉄分の比率（ｙ軸）や石英を反映する珪酸分の比率（ｘ軸）とのプロットグラフでは、チュアを入れる東北タイと入れない北タイの間に明瞭な違いがあるとはいいがたい。

チュアの役割： チュアを用いる東北タイとラオスの焼成は、昇温速度が非常に急激な「低密閉の覆い型野焼き」であることから、筆者らもチュアの主要な役割は「急激な昇温による破損を抑える」ことだと考えてきた。昇温速度が緩やかな高密閉型覆い型野焼きを行う北タイや雲南西双版納

タイ族ではチュアが用いられないことは、この説明と矛盾しない。

一方、ラオスの中でもベトナム系チャム族のサワート県ブンカム村では、東北タイや他のラオスの土器作り村と同様の低密閉（急昇温）の覆い型野焼きにも関わらず、チュアを用いない。ベトナムの野焼き（稲ワラを掛けるが、覆い型というよりも開放型に近い）でも昇温が極めて急激にも関わらずチュアは用いられない。この事実を踏まえて、チュアを用いる村（地域）の共通点を洗い出した結果、「円筒形の一次原型を、３段階の手持ち叩きにより大きく膨らませる」という成形手法が浮かび上がってきた。

東南アジアの稲作農耕民の伝統的土器作りでは、円筒形の一次原型（主に台上で成形）を叩き技法（主に手持ち）で膨らませる（加えて、薄手化し、器壁を締める効果もある）ことにより薄手で胴部の膨らんだ水甕や鍋を作り出すことが特徴である。叩き成形の入念さ（叩きのサイクル数により示される）は一次原型の入念さが低いほど高まる。すなわち、一次原型を「粘土円板からの紐積み」により入念に（時間をかけて）成形する北タイでは、叩きは１サイクルが基本（大型鍋のみ２サイクル）なのに対し、一次原型を中空粘土円柱技法や回転台を用いた挽き上げにより短時間で作る東北タイ・ラオスでは３～４段階にわたる手持ち叩きにより大きく膨らませる。このような変形度が大きい叩き成形では、粒子が細かく、かつ可塑性が高い素地が必要とされる。東北タイの生粘土は、田土（ウボン、コンケン県、ラオス・ブクドン村）、河川堆積（スリン県）、湖底（マハサラカム、ロイエット県）など多様なソースから採取され、成分も多様だが、砂の混和を抑えてチュアを入れることにより、可塑性と均質な細粒の素地を作り出している。

なお、このように変形度が大きな成形手法を用いる背景として、水不足が大きな問題である東北タイ・ラオスでは、他地域よりも大きめの水甕を作ることがあげられる。標準サイズの水甕の容量は、東北タイ（マハサラカム県モー村、ウボン県ドンチック村、東北タイに隣接するラオス・サワナケット県ブクドン村では12～17リットル）の方が北タイ（チェンマイ県ハンケオ、サンカンペン村とランパーン県モンカオケオ村では７～10リットル）よりも明瞭に大きい。

まとめ：　東南アジア大陸部の土器作り村の比較分析をとおして、チュアの役割について以下の役割が明らかとなった。第１に、当該地域は東南アジア大陸部の中で最も雨が少ない地域のため、大きめの水甕（標準サイズが15リットル以上）を必要とする。円筒形の一次原型から３段階にわたる叩き成形により胴部を大きく膨らませることから、①砂よりも粒子が細かい、②炭化した籾殻により粘りがでる（可塑性が高まる）、という特徴をもつチュアが適している。

第２に、当該地域の土器焼成は低密閉・薪燃料多用型の覆い型野焼きであり、急激な昇温（10分で800度以上に達する）に耐える素地が必要である。この点で、粘土本体と同じ組成のチュアは、砂よりも「粘土本体と混和物との膨張率の違いによる熱ストレス」が少ない利点がある。このように、チュアの混和は、成形と野焼きの両面において環境条件に即した選択の結果といえる。

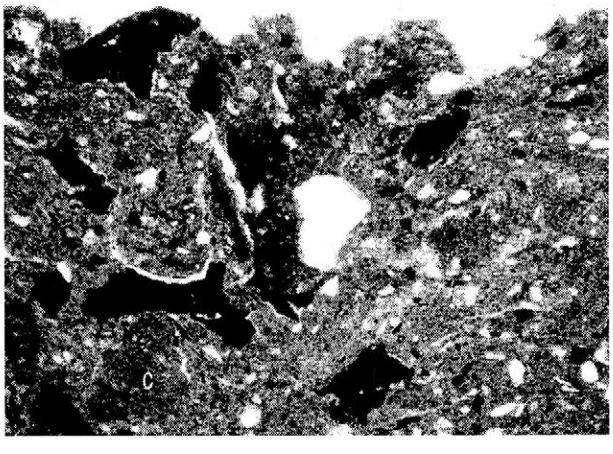


写真１

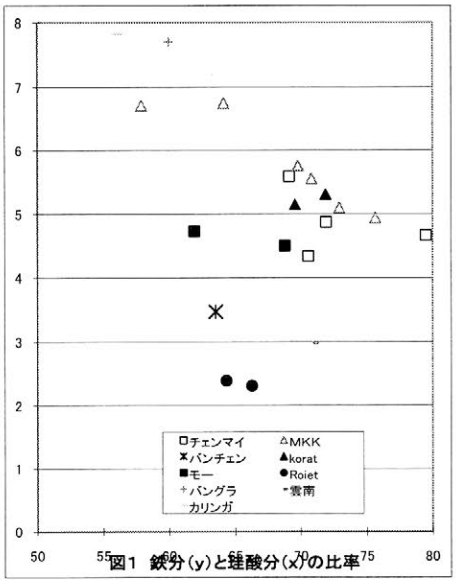


図１　鉄分（y）と燐酸分（x）の比率

エジプト出土古代ファイアンスの考古化学的研究と製作技法に関する考察

○張本 路丹（東理大）、阿部 善也（東理大）、中井 泉（東理大）
西坂 朗子（サイバー大）、河合 望（早稲田大）、吉村 作治（サイバー大）

【序】

ファイアンスは石英を焼き固めて胎とし、表面にガラス質の色釉を施した古代エジプトを代表する焼きものである。釉には主に銅による鮮やかな青～緑色の着色がなされ、古くより貴石の代用品として重宝されてきた。

アブ・シール南丘陵遺跡（エジプト、北サッカラ）では、1991年より早稲田大学の調査隊による発掘調査が行われており、新王国時代第18王朝アメンヘテプ2世とトトメス4世に関連する日乾煉瓦遺構と第19王朝ラメセス2世の第4王子カエムワセトの石造建造物など大型の遺構が発掘されている[1)]。本遺跡からは古王国時代から末期王朝時代に年代付けられる多数のファイアンス製品が出土しており、これまで我々は可搬型の蛍光X線分析装置を用いたオンサイト分析により、年代に伴う組成の変遷を明らかにしてきた[1)]。2009年の発掘調査により、新王国時代第19王朝のファラオ、ラムセス2世の孫王女イシスネフェルトのものと思われる埋葬室が発見され、副葬品としてファイアンス製品が多数出土した[2)]。これまで第19王朝のファイアンスは分析例が少なく、化学的データが欠如していた。そこで、これらのファイアンス製品を分析することでその組成的特徴を明かにし、これまでの調査で特徴づけられた各時代のファイアンスの組成と対比を行い、第19王朝のファイアンスの組成的な位置づけを行った。

【分析装置の概要】

本研究で分析に用いたポータブル蛍光X線分析装置OURSTEX 100FA-IILはOURSTEX（株）との共同開発品である。測定室を真空とし軽元素の分析に対応しているため、ファイアンスやガラスにおいて重要な成分であるNaやMgといった軽元素の分析が可能となる。X線源としてPd管球を用いており、管球から生じたX線をそのまま試料に照射して測定を行う「白色X線励起モード」の他に、管球からのX線（Pd-Kα線）をグラファイトモノクロメータにより単色化してから照射する「単色X線励起モード」による測定が可能である。

本年度から導入したB&W Tec Inc.製のポータブルラマン分光分析装置MiniRamを用いた。光源としてレーザー光を照射して分析を行うため、X線分析において問題となる透過の影響が少ない。またレーザー光の焦点位置からの情報が強く検出されるので、光透過性のある試料では一試料中の内側と外側を分けて分析することもできる。励起光は波長785 nmの赤色レーザー光で、2048ピクセルCCDによりラマンスペクトルを測定した。

【試料と分析内容】

ファイアンス製小型ビーズ：埋葬室からはファイアンス製の小型ビーズが大量に出土している。この小型ビーズは直径約2 mm、厚さ約1 mmときわめて小さいが、大きさや形状のばらつきは少ない。釉の色は水色、緑、青、黄、赤、白と多彩であり、それぞれの色のビーズについて蛍光X線分析およびラマン分光分析による着色技法の検証を行った。さらに緑～水色および青色のビーズに着目し、蛍光X線分析により詳細な組成の特性化を行った。

ファイアンス製鬘：鬘は青緑色に彩色された大型のファイアンス製品で、複数の破片が出土している。一般的なファイアンスと同じく釉部分と胎土部分より構成されているが、この鬘の胎土には灰色～薄紫色の部分（胎土A）と黄色～黄土色の部分(胎土B)が存在し、断面を見ると特殊な層状構造になっている（Fig. 1右上写真）。今回はこれらの鬘の破片を詳細に分析し、劣化の影響や着色技法、2種類の胎土の違いなどを探った。

【結果と考察】

・ファイアンス製小型ビーズ

蛍光X線分析により各試料を定量した結果、青色のビーズには着色剤としてCuの他にCoが含まれており、黄色のビーズはPbとSbの含有量が高く、黄色着色剤としてアンチモン酸鉛（$Pb_2Sb_2O_7$）が加えられたことが明らかとなった。また、赤色の小型ビーズには著量のFeが含まれていた。さらに赤色ビーズのラマン分光分析の結果、表面部分からは赤鉄鉱（hematite: Fe_2O_3）が検出され、赤鉄鉱による赤色着色を施していたことがわかった。白色の小型ビーズは、アンチモン酸カルシウム（$Ca_2Sb_2O_7$）といった白濁剤の存在は確認されなかった。そもそも白色ビーズ中には着色剤となる元素が見られないことから、着色剤を含まないファイアンス、すなわちケイ砂にアルカリ源を添加して焼き固めただけのビーズであると考えられる。

・ファイアンス製鬘

鬘の各部位の定量結果を棒グラフとして示したのがFig.1である。表面釉と胎土AではCoとNiの量が近く、胎土Bにはこれらの元素はほとんど含まれていない。すなわち、表面釉部分と胎土AではCuを除く元素組成に共通性が見出せるが、胎土Bのみ明らかに組成が異なる。よって胎土Bとする部分とそれ以外の部分は、別々の工程で製造されたものと推察される。また表面釉部分の特徴として、他の部分よりもMgとCa、そしてCuが高い。Caは析出塩に由来する可能性があるが、Mgはアルカリ源、Cuは着色剤に由来するものと考えられる。着色剤としてCoとCuの双方が含まれているが、部位による濃度差に違いが見られ、Coは釉と胎土でほぼ一定なのに対し、Cu濃度には明らかな開きがあった。

新王国時代以降の銅着色ファイアンスでは着色剤の原料として青銅が用いられており、我々は蛍光X線分析により得られたファイアンス釉部分のSn、Pbの各蛍光X線強度をCuの強度で割ったプロットSn/Cu *vs.* Pb/Cuをファイアンス釉の組成特性化に用いている。これまでの調査によって、銅着色ファイアンスの釉組成をグループ1（初期王朝～古王国時代）、グループ2（新王国時代第18王朝）、グループ3（第3中間期～末期王朝～プトレマイオス朝）という3つの組成グループに分けられることを明らかにした[1)]。

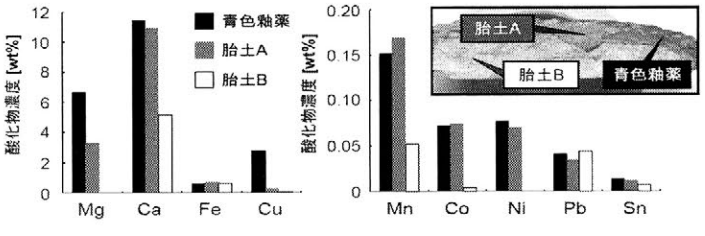


Fig.1 ファイアンス製鬘各部位の定量値比較

ファイアンス製鬘については、保存状態のよい表面釉薬部を6カ所選んで測定した。得られたデータを2008年度までに作成した鉛とスズの年代プロットに代入し、その結果をFig.2に示した。鬘にはPbが含まれており、その組成はグループ3（末期王朝前後）のものと近く、新王国時代第18王朝のファイアンス釉（グループ2）とは異なる組成的傾向が見られる。この鬘は第19王朝のものと考えられるため、新王国時代第18王朝と第19王朝との間で原料もしくは製造技術に何らかの変化が生じ、その変化が組成の違いとして表れた可能性が考えられる。

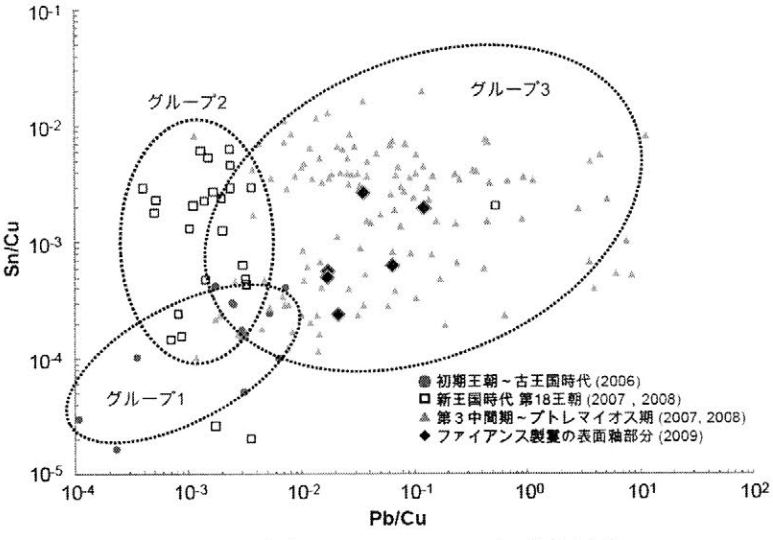


Fig.2 銅着色ファイアンスの組成特性化

1) 阿部善也, 張本路丹, 中井 泉：『エジプト学研究 別冊』**13**, 9, 37-74 (2009).
2) 阿部善也, 張本路丹, 中井 泉：『エジプト学研究 別冊』**14**, 36-38, 94-116 (2010).

桃山文化期における輸入漆の調達と使用に関する調査

○ 北野信彦（東京文化財研究所）、竜子正彦（京都市埋蔵文化財研究所）
川口洋平（長崎県教育庁学芸文化課）、川村紀子（大阪市文化財協会）
本多貴之(明治大学理工学部)、宮腰哲雄(明治大学理工学部)

1、目的

寛永 16 年(1639)の鎖国令以前のいわゆる「桃山文化期」は、日本の文化史上において最も漆塗料が必要とされた時代の一つと位置づけられる。このような桃山文化期における漆塗料の調達に関連して、長崎商館長日記などの文献史料は南蛮交易や御朱印船交易を通じて大量の漆塗料がタイやカンボジア、ベトナムなどの東南アジアから輸入されていたと記録している。この点に関連して、本学会 2006 年の第 23 回大会において報告者らはこの物的証拠の一つとして京都市中の柳池中学構内遺跡から出土したタイ産四耳壺に付着固化していた黒漆様樹脂から、日本・中国産漆塗料に特徴的なウルシオールではなく、タイ・カンボジアなどの東南アジア地域の漆塗料に特徴的なチチオールが検出されたことを報告した。本発表では、その後の調査成果として、新たに解明された内容について調査概要を報告するとともに、そこから見えてくる輸入漆塗料の調達と使用方法、さらには最終的な使用目的について、幾つかの客観的な事例を踏まえた内容を発表する。

2、調査対象試料

・京都市中柳池中学構内遺跡出土のベトナム産陶器破片付着の黒漆様塗料
・長崎市中炉粕町遺跡出土タイ産四耳壺破片付着の黒漆様塗料
・大坂城下町跡(OJ92-18 次)出土タイ産四耳壺破片付着の黒漆様塗料
・京都柳池中学構内遺跡出土漆工用具（漆ヘラ、漆蓋紙、漆曲物、漆刷毛）付着の黒漆様塗料

3、調査方法

・黒漆様塗料の表面固化状態および内部状態の顕微鏡観察
・FT-IR および PY-GC/MS 分析による黒漆様塗料の主要脂質成分の分析
・その他（関連する文献史料の調査）

4、調査結果

(1) 前回の発表で取り上げた黒漆様塗料が付着固化したタイ産四耳壺破片と類似した資料群は、長崎市中の炉粕町遺跡や大坂城下町跡などでも出土事例を確認した。これらはいずれも肉持ちが良く光沢がある固化塗膜であり、かつ黒色が強い共通した特徴を有する。PY-GC/MS 分析を行った結果、いずれもタイやカンボジア産の漆塗料（ブラックツリー）に特徴的なチチオールが検出された。そのためこれらは長崎出島～瀬戸内航路～大坂～京都ルートを経て大量に日本国内に輸入された東南アジア産の漆塗料の物的証拠の一つであると理解した。

(2) 柳池中学構内遺跡出土のタイ産四耳壺破片とおなじゴミ穴遺構からは、黒漆様塗料が付着固化したベトナム産施釉陶器片も幾つか出土しており、塗料からはベトナム漆に特徴的なラッコール単体ではなく、チチオールも同時に検出された。そのため、海外の現地であらかじめ種類の異なる漆塗料が混合（調合）されて壺詰めされ、日本に出荷された可能性もある。

(3) さらに同じ大型ゴミ穴遺構の出土資料を再精査した結果、漆塗料を移し替えるために使用したと考えられる漆ヘラ（ヒノキ製）、漆蓋紙、漆容器である曲物底板、ロートとして使用するために底部を打ち掻いた国産磁器碗、さらには漆塗刷毛などの漆工用具の存在が確認された。これらに付着固化していた黒漆様塗料を PY-GC/MS 分析した結果、チチオール、チチオールとラッコール、チチオールとウルシオールなど、異なる３種類の漆成分の特徴が単独もしくは両者混合で検出された。いずれにしても漆工用具に東南アジア産漆塗料が付着していたことは、これらを使った何らかの漆器生産が京都市中で行われていた事実が指摘されよう。

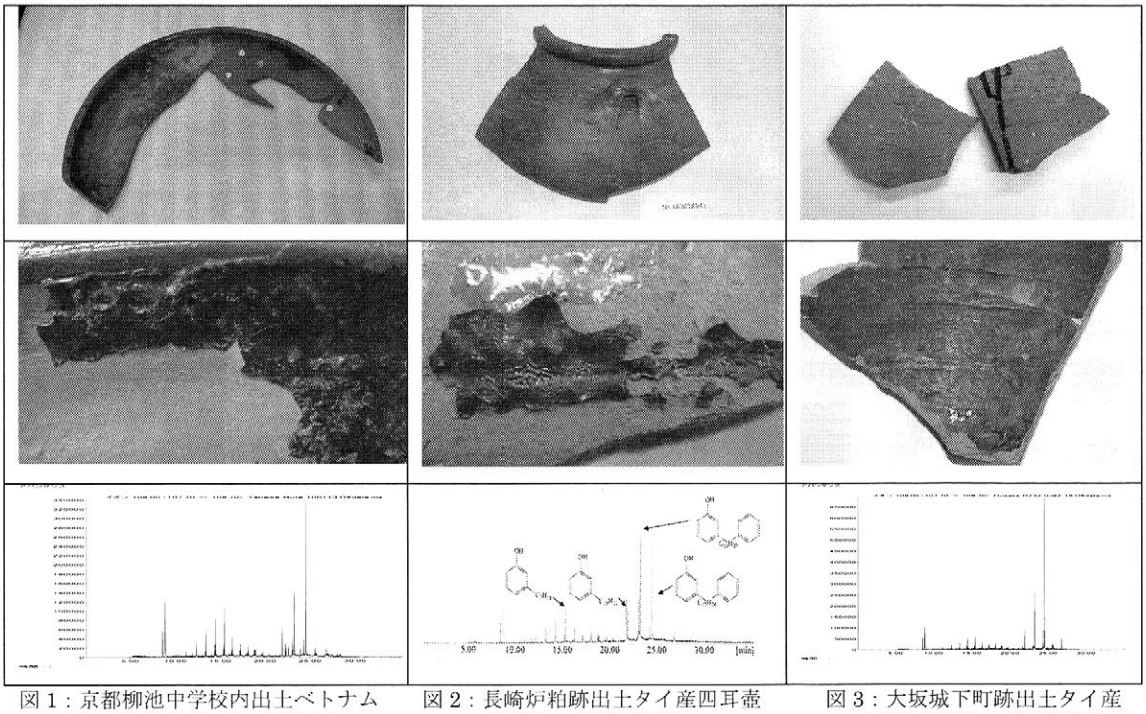


図１：京都柳池中学校内出土ベトナム産陶器蓋片付着の黒漆様塗料

図２：長崎炉粕跡出土タイ産四耳壺片付着の黒漆様塗料

図３：大坂城下町跡出土タイ産四耳壺片付着の黒漆様塗料

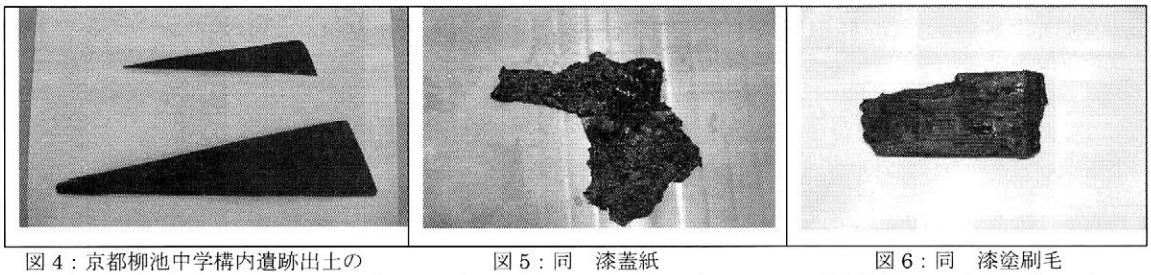


図４：京都柳池中学構内遺跡出土の漆ヘラ（チチオール＋ラッコール）

図５：同　漆蓋紙（チチオール＋ラッコール）

図６：同　漆塗刷毛（チチオール＋ウルシオール）

本発表は、平成 21 年度出光文化福祉財団調査・研究事業助成『南蛮漆器の生産体制と生産技術に関する基礎的研究』（研究代表者：北野信彦）の成果の一部を含む。

韓半島出土縦長板甲付着有機物の同定

○林志暎（元釜山大学校博物館特別研究員），李瑜眞，李賢珠（釜山市立福泉博物館）

Ⅰ．はじめに

今回の発表は、韓国釜山市東萊所在の福泉洞古墳群 58・164・165 号から出土した計 4 領の縦長板甲に付着する有機物の材質同定に関する報告である。

韓半島東南部の新羅と加耶地域を中心に製作された縦長板甲は、縦に長い長方形の板を釘結技法で固定したもので、頸甲と首を保護する側頸板、また、時期が下ると蕨手文や鳥形による装飾を特徴とする。さらに、首を保護する側頸板と頸甲の最上部、また、装飾用飾り板には、覆輪の鉄板の間に有機物が密に詰まっており、近年まで鳥の羽根を装飾したものと考えられていた。昨年の発表で同古墳群 69 号出土遺物の分析をとおして、覆輪の有機物が鳥の羽根ではなく、動物の毛であることを明らかにしたことを踏まえ、同類例の縦長板甲 4 領を追加調査し、有機物の同定を試みた。電子顕微鏡などを用いた分析の結果、覆輪鉄板の間に動物の毛を使用した点、また、毛の固定の仕方が類似しているが、毛の種類や毛の固定に使用された繊維の種類にはそれぞれ相違のあることが確認できた。

Ⅱ．研究動向

縦長板甲の有機物付着例は福泉洞を初め全 13 例確認されており、主に釜山、金海地域の出土品である。特に、ひとつの墳墓から出土する場合、1 点に限って有機物が確認できるため、擬装用である可能性も提議されており、また、付着有機物は鳥の羽根と想定されたことから、鳥装の例として挙げられる。

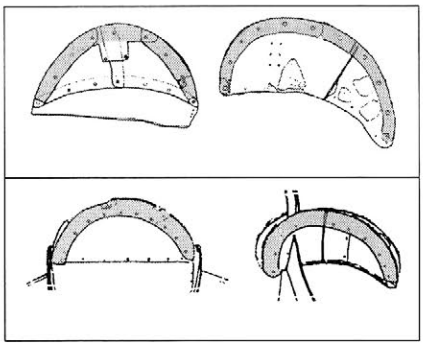


図 1.付着有機物の範囲
(上;福泉洞 10 号、下;金海良洞 78 号)

Ⅲ．同定

1．同定方法

鉄製遺物に付着して出土する有機物は、本来の成分をほとんど失った状態で鉄の錆により形だけを保っている場合が多い。鉄器付着羽根や毛の分析例は稀ではあるが、走査電子顕微鏡や光学顕微鏡による調査例がある。今回の調査では動物学、植物・薬学衛生科学、鑑識科学、繊維分野の形態学的特徴による識別方法を参照した上で、走査電子顕微鏡[1]観察により同定を行った。

2．同定結果

＊86 号 C:有機物の残存長 25 ㎜、断面直径 80~210 ㎛、断面形態　円形または、楕円形、 c は横線状の波線、不規則な急波線が確認。メジュラは格子形と扁平の規則的層状配列

＊86 号 D:残長 15 ㎜、断面直径 150~180 ㎛、断面形態　円形または、楕円形、キューティクルは横線状の滑らかな波線、メジュラは格子形。

＊164 号:残長 20 ㎜、断面直径 120~200 ㎛、断面形態　円形、卵形、片楕円形、キューティクルは不規則な波線、ルメジュラは扁平の不規則的層状配列。

＊165 号:残長 22 ㎜、断面直径 120~280 ㎛、断面形態　円形または、卵形、キューティクルは滑らかな波線、メジュラは格子形。

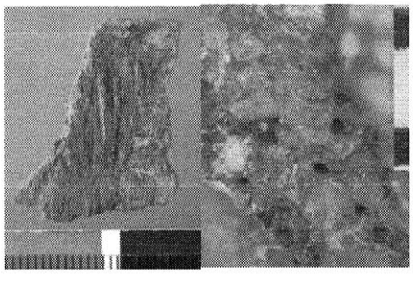
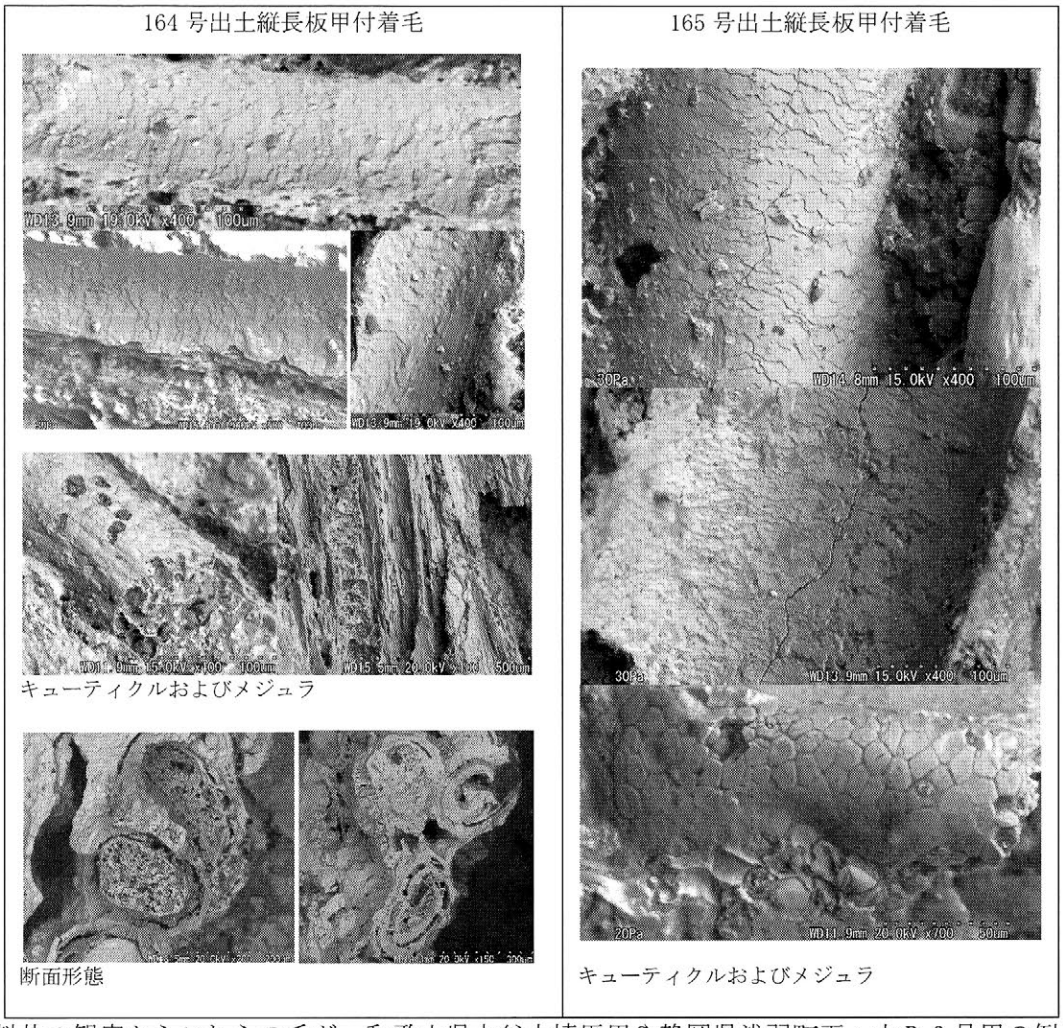


写真 1. 165 号観察試料と断面の顕微鏡写真

Ⅳ．縦長板甲付着有機物の意義

以上の走査電子顕微鏡による同定の結果、今まで羽根と認識されてき有機物は断面円、または楕円形の二重構造のほか、キューティクルとメジュラの形状が確認でき、動物の毛であることがわかる。残念ながら毛根部の観察までは至らなかったが、86 号 D と 165 号はシカ科の動物の毛で、86 号 C と 164 号はテンや狐など食肉目に該当すると推定できる。また、試

1 奈良大学文化財学科保存科学研究室内 HITACHI SEMEDX typeN



料片の観察からこれらの毛が、和歌山県大谷古墳馬甲や静岡県浅羽町五ヶ山 B-2 号甲の例とは異なり、皮に付着した毛ではなく、毛のみ分離して使用したもので、毛を束ねるために、それぞれ異なる 2 つの繊維を用いたことも確認できた。

動物毛の比較試料収集に奈良文化財研究所の松井章先生のご協力を頂いたほか、杉本和江さんから毛の分析例など多くご教示を頂いた。また、長い時間にわたって、分析のご指導、ご教示を頂いた西山要一先生と倉賀野健さんにも感謝いたします。

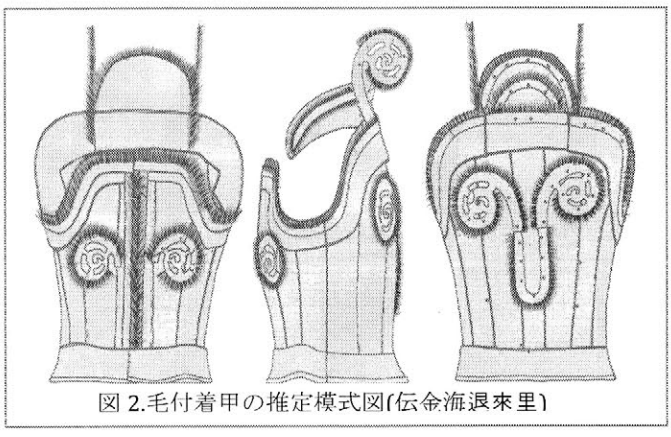


図 2.毛付着甲の推定模式図(伝金海退來里)

《参考文献》

木川りか,1998「大谷古墳出土馬甲に付着した毛皮の獣毛の形態およびＤＮＡ分析による生物種調査」『和歌山市立博物館研究紀要』１３号,和歌山市立博物館
佐藤元, 2000『古代の技術』サイエンスフ
西尾太加二・青木修・山本義孝,1998「静岡県浅羽町五ヶ山 B-2 号墳出土遺物の保存処理」『日本文化財科学会』第１５回大会
C.J.Dove, 2002「Microscopic analysis of feather and hair fragments associated with human mummified remains from kagamil island, Alaska」『Ethnographical Series』 Vol.20
B.J.Teerink, 1991『Hair of West-European mammals』Cambridge University Press
임지영・이유진・이현주, 2010「삼국시대종장판갑부착유기질연구」『한국고고학보』

ローマおよびイスラーム時代のガラスに彩画されたエナメル顔料の考古化学的研究

○鈴木周作，加藤慎啓，中井泉（東京理科大学）

はじめに

ガラス容器へのエナメル彩による装飾はローマ時代に最初の例が見られるが、後世まで連続的に継承されることなく途絶えてしまった[1)]。その後、イスラーム時代となり13世紀後半になると、ローマ時代に見られるものと比べ、より精巧で高い技術力を要する装飾ガラスとして隆盛を迎えた。エナメル彩による装飾は、ガラスと顔料の混合物を粉砕することで得られるエナメル顔料を瓶や皿といったガラス器体に塗り付けた後、再度器体を窯で焼成することで行われた。この焼成により、エナメル顔料は溶融してガラス質の装飾として器体に焼き付けられる。青、赤、黄、緑、白色など多彩なエナメル顔料が使用され、加えて渡金による装飾も行われた。大変豪華なエナメル彩装飾ガラスは高級品として位置づけられ、この装飾技術はヴェネチアを通じてヨーロッパへと広まり、後のガラス工芸に大きな影響を与えたとされている[1)]。

先行研究より、イスラーム時代のエナメル彩装飾ガラスは、同色であっても異なる顔料による着色が存在することが報告されている[2)]。これは、時代もしくは製造地の違いにより、使用された顔料が異なっていたためだと考えられる。また、エナメル彩についての従来の研究ではSEM-EDSを用いた破壊を伴う分析が行われた。本研究では、エナメル彩中のエナメル顔料を蛍光X線元素マッピングとラマン分光分析を用いて、エナメル顔料の同定を行うことで、非破壊分析により当時のエナメル彩画技術の考察を行うことを目的とした。

試料と実験

フスタート遺跡出土とされ、ローマ時代(1~4世紀)のものだと考えられているエナメル彩装飾ガラス2点(中近東文化センター付属博物館蔵)と、フスタート遺跡出土のイスラーム時代(7~8, 13~14世紀)のエナメル彩装飾ガラス24点(早稲田大学蔵)を対象として分析を行った。イスラーム時代のものは、赤色エナメル彩のみが施された7~8世紀の初期イスラーム時代の資料2点と、多彩なエナメル彩により装飾が施された13~14世紀の資料22点を用いた。

分析方法は、X線顕微鏡(HORIBA XGT-2700)を用いて蛍光X線元素マッピングを行い、微細なエナメル彩装飾について色ごとに定性分析を行った。その後、顕微ラマン分光装置(JASCO NRS-3200)を用いて、エナメル顔料中に見られる微粒子に対してラマン分光分析を行い、顔料の同定を行った。ラマン分光分析による同定は、参照試料のラマンスペクトルと実試料のラマンスペクトルを比較することで行った。

結果と考察[3)]

X線顕微鏡による蛍光X線マッピングの結果例を図1に示す。

青色エナメル彩では、蛍光X線元素マッピングによる定性分析により、イスラーム時代のエナメル彩において、計4種類の青色エナメル顔料を確認することができた。Alを含むものをType 1、Al, Pbを含むものをType 2、Co, Cu, Zn, Pbを含むものをType 3、Al, Co, Cu, Zn, Pbを含むものをType 4とした。さらに光学顕微鏡観察により、Alを含むType 1, 2, 4ではいずれも微粒子が観察された。この微粒子はラマン分光分析により、ラズライト[$(Na, Ca)_8(AlSiO_4)_6(SO_4, S, Cl)$]と同定することができた。従って、Alを多く含む青色エナメル彩はラズライト粒子を含み、これが発色の要因であることが明らかとなった。また、Type 3には微粒子が確認されず、ラマン分光分析からも同定可能なラマンスペクトルは得られなかった。そのため、Coを含む鉱物顔料は存在せず、Coがガラスに溶け込むことによる青色ガラスの発色と考えられる。またCoを含む青色には、同じく青色発色の要因となるCuも含まれていたが、同様のCoを含む青色エナメル彩の定量が報告されており、それによるとCoO濃度とCuO濃度はほぼ同程度であった[2)]。この濃度比から考えると、Coが主要な着色要因といえる。また、Znも青色エナメル彩に含まれているが、これは青色着色のためにガラスに溶かされたコバルト鉱物からの不純物と考えられる。

さらに組成の違いとして、Pb の有無も確認された。Pb はエナメル顔料の融点を下げる融剤の役割をしており、Pb を含むエナメル彩は含まないものに比べて、表面がよりガラス質となり光沢感がみられた。

黄色エナメル彩では、ローマ時代のものからは Pb のみが検出され、イスラーム時代のものからは Pb と Sn が検出された。古代における黄色顔料は Pb_2SnO_4, $Pb_2Sn_2O_6$, $Pb_2Sb_2O_7$, $Pb_2SnSbO_{6.5}$ の 4 種が一般的に使用されたと考えられている。いずれの顔料も自然界には存在せず、当時の職人により合成されたものである。今回ラマン分光分析を行うにあたり、これら 4 種類の黄色顔料を合成し、参照試料とした。その結果、ローマ時代のものとされる黄色エナメル彩は $Pb_2Sb_2O_7$ と同定され、イスラーム時代のものは $Pb_2Sn_2O_6$ と同定され、異なる顔料使用を確認することができた。

緑色エナメル彩では、ローマおよびイスラーム時代の資料において、いずれも Pb と Cu が検出された。Pb と Cu がガラス中で共存すると緑色になることは良く知られており、これにより緑色に着色されたと考えられる。また、ラマン分光分析よりイスラーム時代の緑色の資料において黄色エナメル彩で見られた $Pb_2Sn_2O_6$ が同定された。

赤色のエナメル彩では、ローマ時代と 13~14 世紀のイスラーム時代のものについて、Fe が検出され、8~9 世紀の初期イスラームガラスのものからは Cu と Pb が検出された。ラマン分光分析より、Fe を含む赤色エナメル彩はいずれもヘマタイト(Fe_2O_3)と同定できた。13~14 世紀のイスラーム時代の赤色エナメル彩は、線状に薄く描かれたものと広い面積に厚く塗られたものがあり、線状の赤からは Pb が多く検出され、面状の赤からはほとんど Pb が検出されなかった。これは顔料が同一ながら、顔料と混合するマトリックスとしてのガラス組成の違いであると考えられる。薄く線状に彩画する際には、融剤としての Pb を多く含んだ、融点の低いものが使用されたことが推定される。8~9 世紀の赤色エナメル彩は、ラマンによる同定は行っていないが、金属銅コロイドによる着色であると考えられる。赤色の装飾は、ローマ時代ではヘマタイトを用いたものよりも、銅赤によるものが一般的であったとされ[4]、今回分析したローマ時代の赤色は特異的であり、また 8~9 世紀の赤色エナメル彩はローマ時代で一般的であった技術が残ったものではないかと考えられる。

白色のエナメル彩では、Pb と Sn が検出された。ラマン分光分析から同定可能なスペクトルが得られなかったが、おそらく錫石(SnO_2)によるものと考えられ、Pb はエナメル顔料の融点を下げるためのガラスの融剤として用いられた Pb であると考えられる。

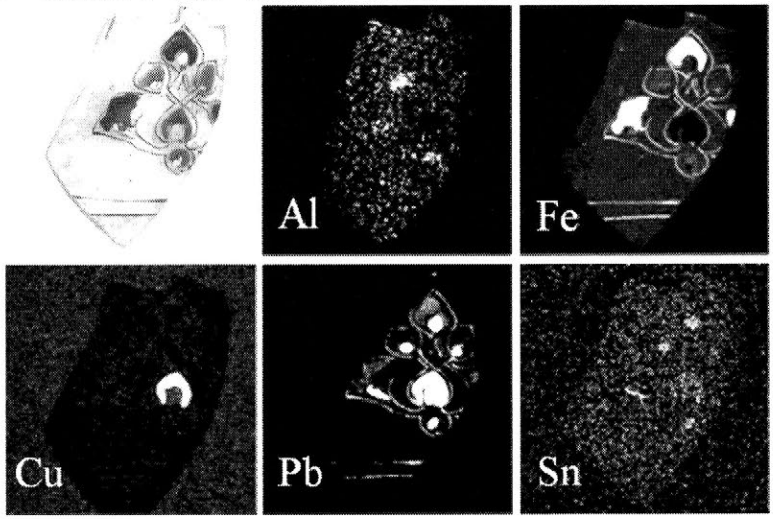


図 1　資料写真(左上)と X 線顕微鏡による蛍光 X 線元素マッピング

1)中近東文化センター、真道洋子(2005): ガラスの博物誌～ガラス文化の源流を辿る～、pp.4-7.
2) Freestone, I.C., 2002: *Archaeomety* 44 (2), pp. 251-255.
3) M. Kawtoko & Y. Shindo (eds.), *Artifacts of the Islamic Period Excavated in al-Fustat, Egypt*, Joint Usate / Research Center for Islamic Area Studies, Organization for Islamic Area Studies, Waseda University, in press (2010).
4) Greiff, S., and Schuster, J., 2008: *Journal of Cultural Heritage* 9, pp. 27-32.

大阪府枚方市禁野車塚古墳の物理探査

○亀井宏行(東京工業大学), 菱田哲郎(京都府立大学), 一瀬和夫(京都橘大学),
米田文孝(関西大学), 西田敏秀(枚方市文化財研究調査会)

1. はじめに

大阪府枚方市にある禁野車塚古墳は, 全長約 120m の前方後円墳で, 2008 年度の測量調査から箸墓古墳に相似形の前期古墳と判明した。埋葬主体については, 大和盆地東南部の前期古墳の竪穴式石槨に多用されているカンラン石安山岩の破片が採取されていることから石槨の存在が疑われるが, 未調査のため定かではない。そこで, 2008 年と 2009 年にかけて, 後円部の地中レーダ探査, 磁気探査, 電気探査を実施して, 主体部の様子を探った。本報では地中レーダ探査結果を主に報告する。

2. 探査領域と探査法

禁野車塚古墳の後円部墳頂の探査領域は, 図 1 に示すように東西 17m、南北 14m の方形の範囲で, 南西角を原点として, 東西方向に東を正方向にX軸を, 南北方向に北を正方向にY軸をとる。地中レーダ探査は, 2008 年 10 月 17 日に, カナダ Sensor & Software 社製 PulseEKKO-Pro 500MHz アンテナを用いて実施された。測線は, 東西方向, 南北方向両方向に, それぞれ 0.5m 間隔で配置された。

3. 探査結果

レーダ断面図を見ると, 探査領域の北側に地表面下 40cm あたりまで, かなりの石が散在している様子がうかがえた。墳丘上全体の石の2次元分布をみるには, TimeSlice 図が有効である。図 2 に, 特徴がよく現れている深さの TimeSlice 図を示す。図 2 (a)の TimeSlice 図は, 時間窓 2-6nsec (深度換算約 7-20cm) で切り出したもので, 北西部分で強い反射が幅 8m のコの字状に並んでいる。さらに北東部にもコの字状に分布しているように見える。何らかの人工的な構造物の存在が推定される。次の図 2 (b)の時間窓 6-10nsec (深度 20-34cm) の TimeSlice 図では, 北西のコの字状構造の北西面を横切る幅 3m ほどの並行する 2 本の直線構造が見られる。北西側へのコの字状の突出部や北東側への突出部は, 現在の地形にもその痕跡がみられ, 標高 21m の等高線もそのような凹凸を描いている。古墳由来の構造として考えられるのは, 祭祀のための基壇 (祭壇) がある。南側にはその祭壇の痕跡を示すレーダ像は得られていない。

図 2 (c)の時間窓 14-18nsec (深度 47-60cm) の TimeSlice 図では, 東西 X=5-9m、南北 Y=1-11m の範囲で, 反射の弱い部分 (黒っぽい部分) が現れる。この深さからさらに 32nsec (深度約 1.1m) あたりまでこの反応は続く。南北に長軸をとる墓壙ではないかとも考えられるが, 祭壇の方向と合致しないことから, 墓壙の可能性は低く, 盗掘坑ではないかと考えている。古墳の内部施設を求めてさらに深いところを探っていくと, 図 2 (d)の時間窓 58-62nsec (深度 195-208cm) の TimeSlice 図で, おぼろげながら北西から南東に向く上部の祭壇とほぼ同じ規格の, 幅 8m×長さ 14m ほどの長方形の輪郭が現れる。おそらくこれが墓壙の底であろうと思われる。

4. むすび

レーダ探査の結果, 長軸をくびれ部に向く方向にとり, 斜面を石で葺かれた, 左右に突出を持つかもしれない特異な形状の祭壇の存在が疑われる。埋葬施設については, 墓壙も祭壇と同一方向を持つと推定される。レーダの反応からは, 強い反射が得られていないことから, 石槨である可能性は低いが, 盗掘によりすべて持ち出されている可能性も否定できない。

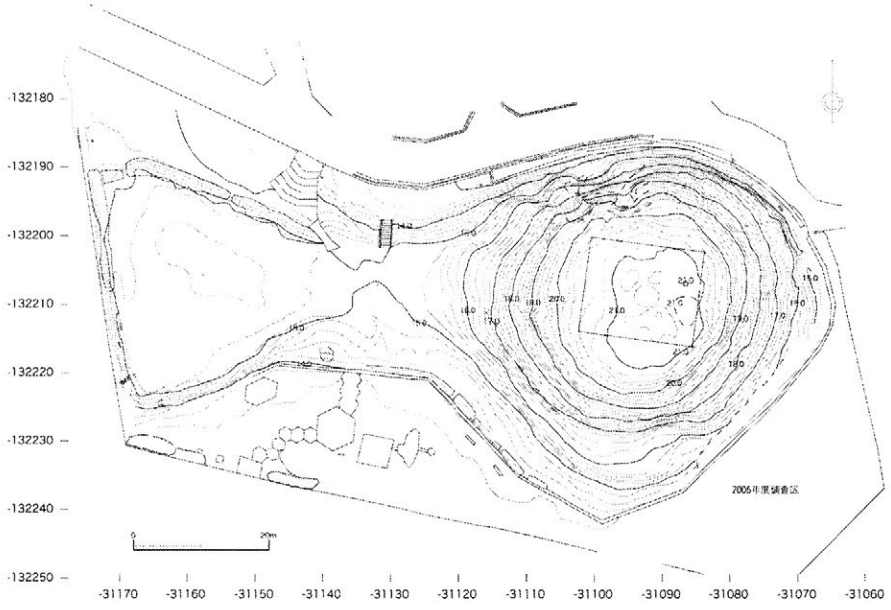


図１．禁野車塚古墳墳丘測量図と後円部探査領域（後円部墳頂の方形領域）

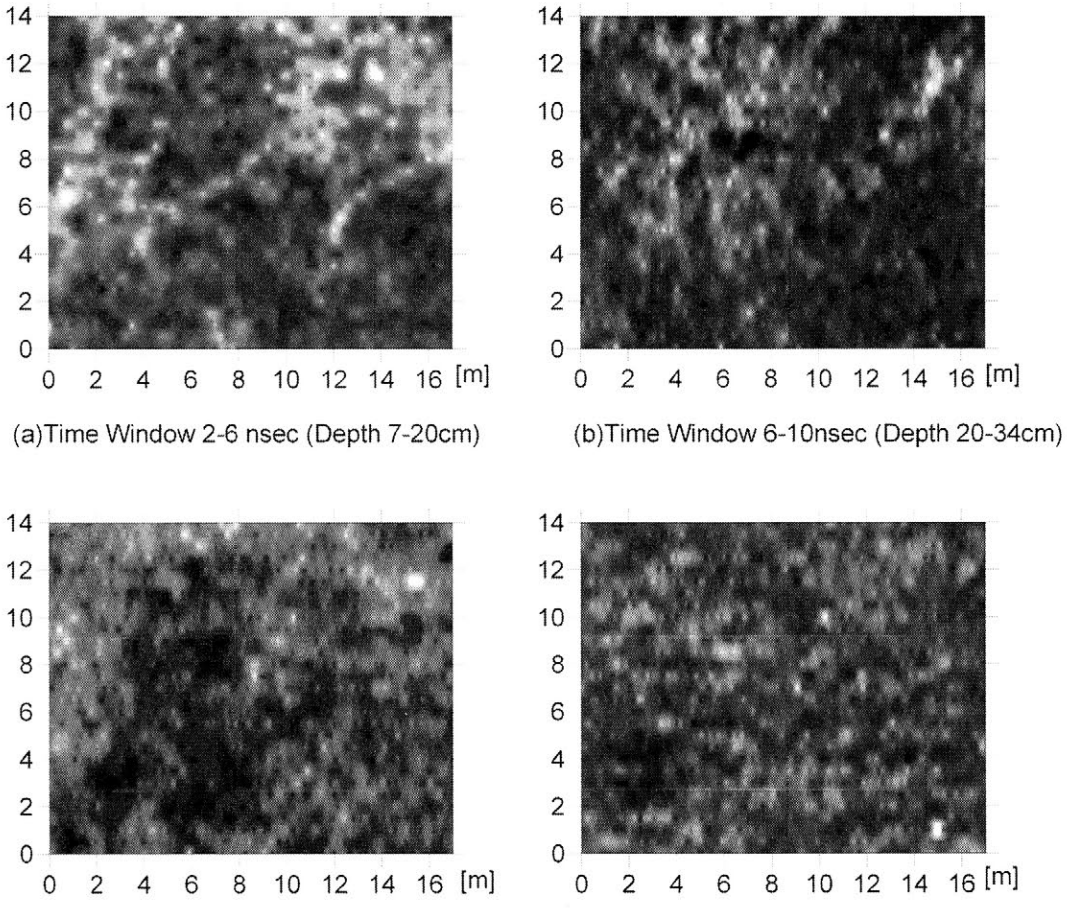


図２．地中レーダ Time Slice 図

日光輪王寺における文化財建造物の超音波探査

○足立　和成（山形大学大学院理工学研究科）

１．はじめに

文化財建造物、特に木造ものの保存においては、その文化財としての価値を守るべく出来る限り原状を保ちながら、倒壊の危険を避けるために必要な最低限の修復作業を施すことが求められる。そのためには、柱や梁などのその構造部材内部の異常部を非破壊で探査しその大凡の位置と広がりを把握するための技術が不可欠である。ただ、そうした文化財建造物は住居地域に存在することが多く、それら構造部材を貫通する電磁波やＸ線の使用は、電波障害や人体への危険性などから難しく非現実的である。一方、超音波を用いた手法なら、そうした懸念もなく取扱いに特に資格なども必要としないことから、上の用途に適している。

しかし、市販の超音波非破壊検査装置ではその超音波の出力が小さく、木造文化財建造物の構造部材の探査には向かない。そのため筆者らは、独自に文化財建造物用の超音波探査装置を開発し、それを実際の木造文化財建造物の構造部材内部の異常を探知に適用する試みを繰り返してきた[1)]。ここでは、かなり以前の事例ではあるが、この装置を用いて行なった日光輪王寺における文化財建造物の超音波探査の例を紹介することで、この手法の有効性を示すことにする。

２．開発された文化財建造物用超音波探査装置と探査手法の概要

ここで用いた超音波探査装置のブロック図を図１に示す。超音波パルスの送受波は同型の一対のプローブで行なっており、プローブの送受機能の切替は、実際には外部のスイッチボックス（図中省略）で行なっている。各プローブ前方部内部には、強力な超音波パルスを放射できる圧電ボルト締めランジュバン型振動子が収められており、これが超音波の受波にも使用される。送波器として使用する時には、パワーアンプで最大電圧 300$V_{p\text{-}p}$に増幅された基本周波数 70ｋＨｚの矩形波３波が振動子が直接印加されて駆動され、受波器として使用する時には、プローブに内蔵されたヘッドアンプ（図中別記）で、振動子が捉えた微小信号を増幅（1k～430kHz の帯域で 60ｄＢ）して処理系に送るようになっている。パワーアンプ（NF4020）と AD-DA コンバータ、コンピュータは市販品である。

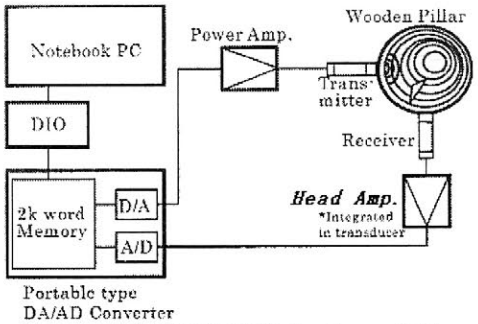


図１　超音波探査装置のブロック図

探査手法としては超音波音速ＣＴ法と筆者者らが「差し渡し法」と呼ぶ採用した。前者は探査対象断面をその音速分布に形で画像化するものであり、後者は画像化を行うものではなく、送波器からの超音波パルスが受波器で受信できるか否かで測定対象の内部の異常を調べる手法である。

超音波音速ＣＴでは、まず最初、送受波器間隔を中心角にして 20 度一定に保ち、それらを 10 度づつずらしながら対象断面周囲を１周させ、送受波器間の音波伝搬時間を測定する。以後送受波器間隔を 20 度刻みに増やして 180 度になるまで、同様に対象断面周囲を移動させながら送受波器間の音波伝搬時間を測定することを繰り返す。こうして対象断面内の（一度測定した組み合わせは省いて）合計 306 対の経路について音波伝搬時間を測定し、そのデータにＸ線ＣＴと同様の処理を行なうことで、画像再構成を行なう。

一方「差し渡し法」では、対象断面外周の中心角 180 度の位置に送受波器を押し付けて音波伝搬の有無を観察し、同じ中心角のまま送受波器を対象の長手方向に移動させながらその観察を繰り返し、異常部が対象の長手方向にどのくらい広がっているかを調査する。

３．日光輪王寺の成り立ち

日光輪王寺は、元々は奈良時代末に勝道上人によって開かれた日光山にあった四本龍寺がその前身であり、明治後、東照宮・二荒山神社とともに三カ所の参詣所の一つとなった。その三重塔は 1685 年、四本龍寺があったところに建てられたものであり、1973 年６月２日に重要文化財に指定された。三仏堂は輪王

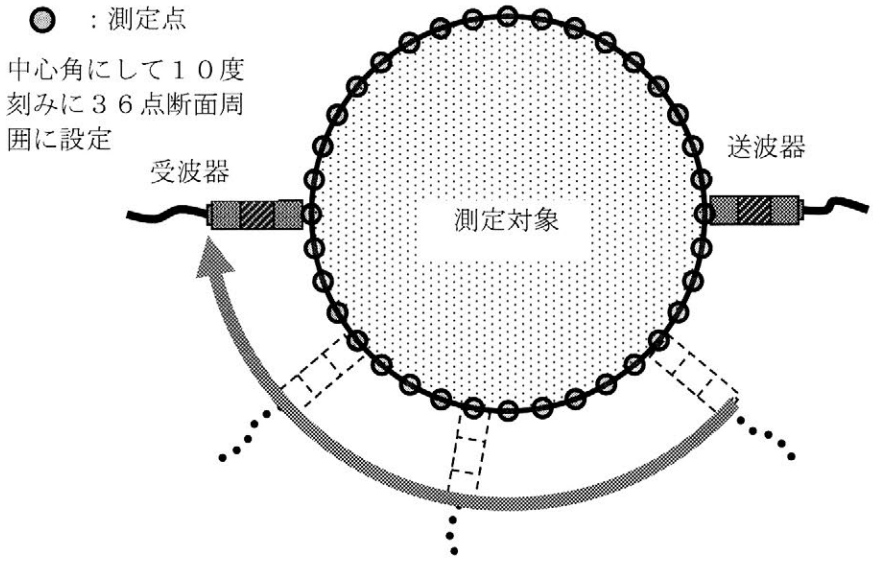


図２　超音波音速ＣＴにおける測定手順。送受波器間の間隔を一定に保ち、双方の位置を中心角にして１０度刻みで探査対象断面外周で移動させながら両者間音波伝搬時間を計測する。以後、送受波器間の間隔を中心角にして２０度刻みで変えながら、これを繰り返す。

寺の本堂であり、日光三社権現本地仏と東照三社権現本地仏の二組の三尊仏が祀られている。848年の創建だが、現在の三仏堂は1647年に建立され、1879 年に現在地に移転した。

４．輪王寺三重塔初層の柱の超音波音速ＣＴによる探査

初層の角の柱の根継ぎ箇所の特定のために、切り取られる断面（図３の付箋の貼ってあるところにプローブを押し当てて伝搬時間を測定した）の可視化を超音波音速ＣＴの手法を用いて行なった結果、図４(左)のように当該断面像に大きな音速異常部は見られなかった。健常な断面から下を根継ぎする方針だったためここで切断したところ、同図右のように異常部は実際に見られなかった。なおＣＴ像では、壁板が嵌り込んでいた溝の部分は省略されている。この部分の測定点を含む経路での音波伝搬時間は、周囲の近傍の経路でのそれらから補間によって求めた。

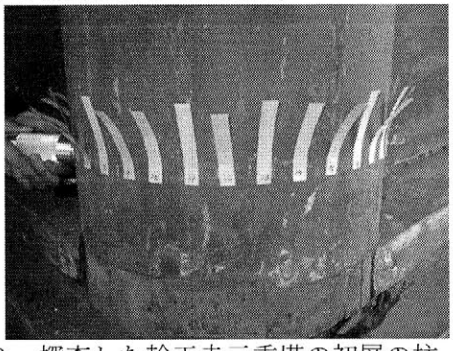


図３　探査した輪王寺三重塔の初層の柱。

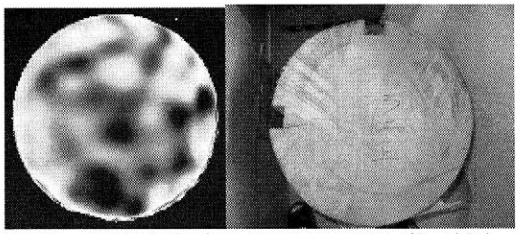


図４　超音波音速ＣＴによる断面像（左）と実際の断面（右）。

５．輪王寺三仏堂の柱の「差し渡し法」による超音波探査

三仏堂の柱２本についても、送波器と受波器を水平に対面させながら3[cm]刻みで上下に移動しながら測定を行った。一本の柱は根元からの高さ245[cm]前後より下で、もう一本は高さ79[cm]前後より下で、超音波パルスを受信することができなくなった。異常部が地面から高い位置にまで及んでいることから、これらの部分で白アリなどによる虫害が進んでいると思われた[1]。

６．おわりに

輪王寺の三重塔及び三仏堂の柱の超音波探査を行い、特に三重塔については、その柱の根継ぎ作業の参考となるデータを提供できたことから、開発した専用装置を用いた超音波探査は文化財の保存修復に十分役立つものになっていると考えている。

参考文献

1)　足立、中條、西村編「文化財探査の手法とその実際」真陽社,1999年,255-270頁

古墳や窯跡調査に適用した物理探査の手法

○西谷忠師（秋田大学）

１．はじめに

物理探査には様々な手法があるが、ここでは電磁気探査・電気探査・磁気探査を用いて古墳の石室の位置や登り窯の位置の推定が可能であることを報告する。

２．電磁気探査

電磁気探査は磁場と電場を同時に測定して地下の比抵抗構造を求める手法である。数多くの周波数を観測して、浅い部分から深い部分の構造を明らかにする地磁気地電流法（MT 法）がよく知られている。超長波帯（VLF 帯）の信号を利用する電磁気探査は VLF-MT 法あるいは、単に VLF 探査と呼ばれている。九州えびの高原から発信されている 22.2kHz の VLF 波を用いて、発信局方向の電場成分と、これと直交する方向の磁場成分を測定して比抵抗の値を得る。実際に、熊本県八女市の岩戸山古墳に適用した例が図１である。周囲に比べて比抵抗の高い部分を地下構造物と推定した。

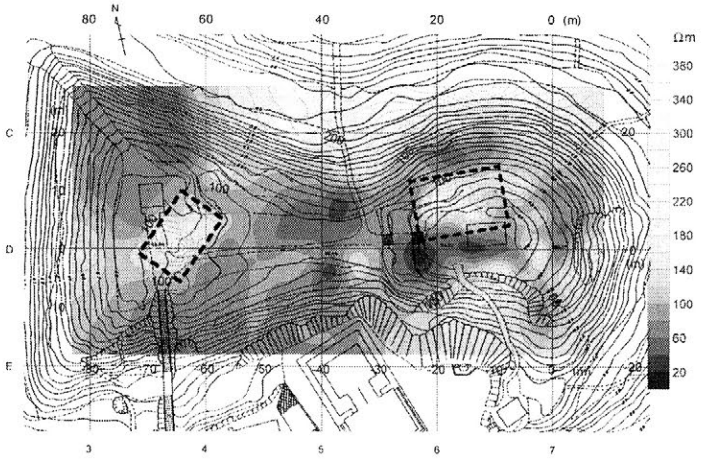


図１　岩戸山古墳の VLF-MT 探査

図２は奈良県天理市、西乗鞍古墳で実施した VLF-MT 探査の例である。ここでも石室と思われる場所に比抵抗が高くなる傾向を捉えた。VLF-MT 法は 5m～10m 深度の構造物推定には有効な方法である。茨城県ひたちなか市の殿塚古墳では、発掘結果と VLF-MT 法の結果は良い一致を示した。

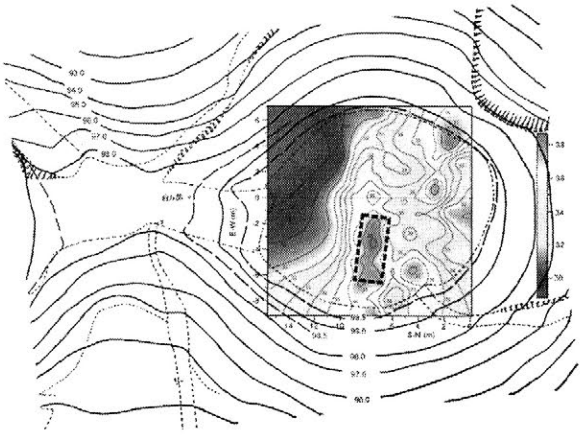


図２　西乗鞍古墳の VLF-MT 探査

３．電気探査・磁気探査

電気探査・磁気探査の適用例として秋田県仙北市角館町の白岩焼窯跡を取り上げる。白岩焼窯跡の古い調査結果（瀬戸山之図）が残っているが現在の位置との対応が明確ではなく、場所や規模の特定が困難な場所である（図３）。瀬戸山之図でイ窯跡と古窯と示されている部分を中心とした範囲の電気探査と磁気探査を行った。図４が電気探査の結果である。得られたデータの解析を行い、窯跡の位置を推定して点線で示した。また、同じ場所の磁気探査を行い、解析により窯跡と推定できる場所を点線で示した（図５）。両探査手法から推定できる窯跡の位置は矛盾がなく整合的な結果が得られた。過去の調査の結果と照らし合わせて、窯の位置を復元した（図６）。

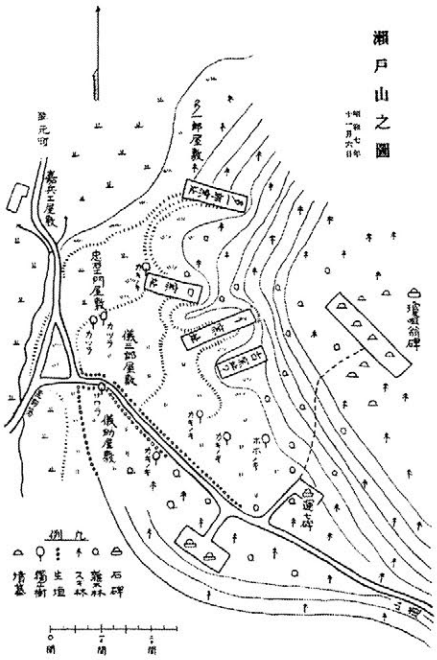


図３　過去の調査結果

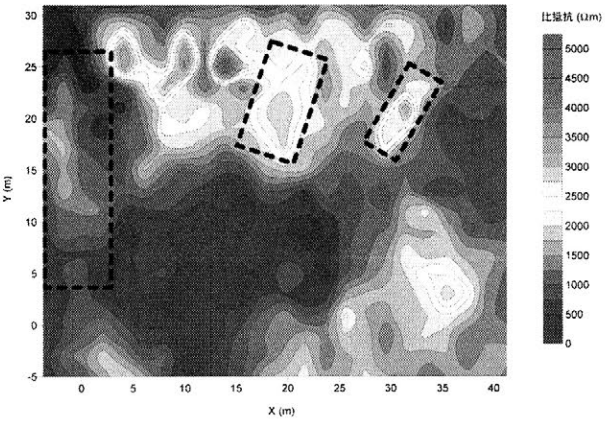


図４　電気探査による窯跡調査

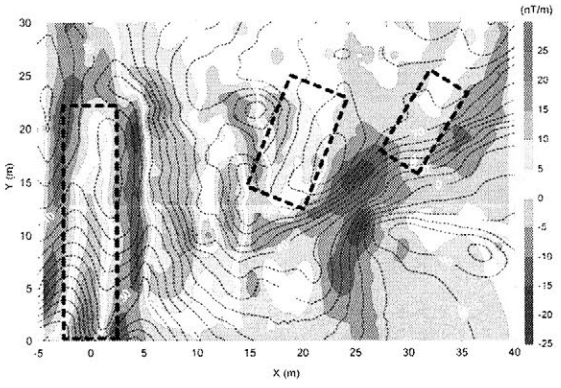


図５　磁気探査による窯跡調査

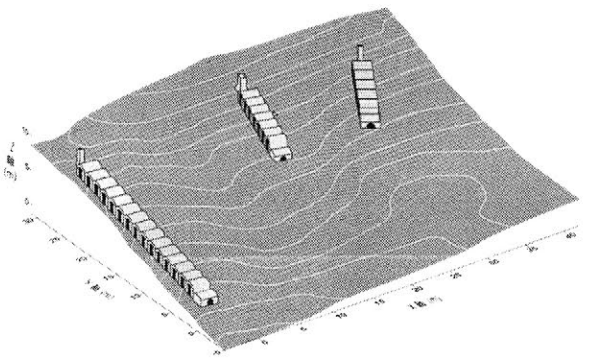


図６　窯の位置復元

土壌・岩石の磁性分析による被熱遺構探査−その原理と実際−

○森永速男（兵庫県立大学大学院地球テクトニクス研究室）

1. はじめに

人類が火を利用し始めたのは，アフリカで150〜140万年前頃，アジアでは北京原人の50万年前頃やジャワ原人の100万年前頃と考えられている．日本では，縄文時代以降の遺跡で，火を使用したことを示す証拠（石器，土器や土壌の赤化や黒化など）が見つかっているが，旧石器時代では，検出例が極端に減少する．その理由として考えられているのが，「遊動」というライフスタイルである．狩猟生活を営んでいた旧石器人は，常に移動（遊動）生活をしていた．その結果，焚き火址の焼土や焼け石が明瞭に形成されなかった，あるいは被熱程度の低い焼土のために風雨で削られてしまった，と推定されている．そのため，旧石器考古学では被熱痕跡として，炭化物(燃焼残留物)，石囲い(炉)，そして礫群(焼け石)などの存在を考える．このような推定を証拠立てる理化学的な方法として，岩石や土壌の磁気的性質（以後，磁性と呼ぶ）に着目した方法がある．ここでは，この磁気的手法に関する原理と考古遺跡で行われたその適用例について紹介する．

2. 原理−被熱による岩石や土壌の磁性変化

岩石や土壌の磁性を表すパラメータは多種あるが，ここでは、比較的容易に測定可能な磁気パラメータである残留磁化と初磁化率（以後，帯磁率と呼ぶ）について述べる．岩石や土壌はその形成過程で獲得した熱残留磁化や堆積残留磁化を持っている．しかし、古代人が土壌や岩石に熱を加える行為を行えば，それらは熱残留磁化を獲得し，さらに一部土壌では被熱前とは異なる帯磁率を示すようになる．つまり，土壌や岩石の残留磁化や帯磁率を測定し，同起源の比較試料のそれらとの差を検出できれば，被熱歴を推定できる．

2.1 土壌の場合

オドリ火山灰（前出，約20,000年前の大山起源の火山灰），立川ローム X 層（約30,000年前の富士山起源の火山灰），シルト（粒径 2^{4}〜2^{8} mm）および粘土（粒径 2^{8} mm 以下）サイズの河川堆積物を約10 cm の厚さで敷き詰めた模擬土壌表面で約 6.5 時間の焚き火を行った結果を紹介する．焚き火中の最高温度は，表面で約1100℃で，深さ 2cm，5cm および10cm の地中でそれぞれ約600℃，約400℃および約100℃であった．

焚き火後に4種の土壌表面から，焚き火中心外向き4カ所で定方位試料を採取した．試料の帯磁率(単位グラムあたり，10^{-5} SI)を横軸に，残留磁化強度（10^{-3} Am²/kg）を縦軸にとり，図1に示す．図中のアルファベット（土壌種に対応）の右の数字は焚き火中心からの距離に対応し，小さいほど中心に近い（「15cm×数字」がほぼ中心からの距離になる）．つまり，小さい数字ほど被熱程度が高いことを意味している．火山灰質土壌(立川ローム；Aとオドリ火山灰；B)では帯磁率増加はほとんど認められないが，残留磁化強度は被熱程度に比例して1桁〜2桁程度増加している．河川堆積物では，被熱程度が高いほど，帯磁率（1桁〜2桁）と残留磁化強度（2桁〜3桁）ともに増加している．

一般に新鮮な火山灰中の主な磁性鉱物はマグネタイト（Fe_3O_4）もしくはチタノマグネタイト系列である．一方，河川堆積物中には風化生成物と考えられるマグヘマイト（γFe_2O_3），ヘマタイト（αFe_2O_3）やゲーサイト（$\alpha FeOOH$）なども含まれている．これらの被熱による別の鉱物への変化と熱残留磁化の獲得で上記の実験結果を説明できる．

ゲーサイトは，250℃〜300℃まで熱せられると，次式のように脱水してヘマタイトに変わる．

$$2FeOOH \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O \quad \cdots (1)$$

さらに，木材の燃焼による酸素の大量消費による還元環境下では，一部のヘマタイトからマグネタイトが生成する．

$$6Fe_2O_3 \rightarrow 4Fe_3O_4 + O_2 \quad \cdots (2)$$

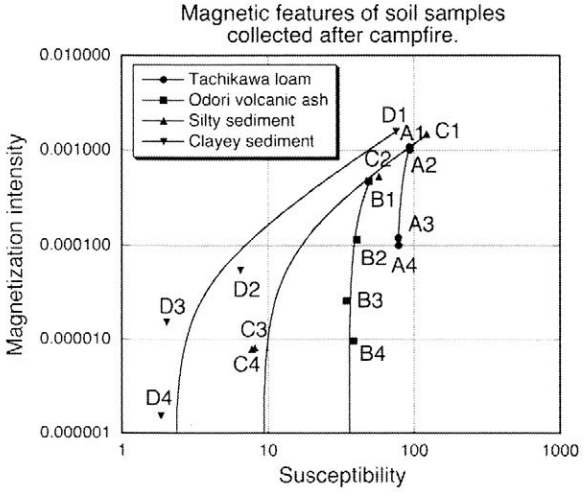


図1　各種土壌の被熱による磁性変化

または，燃焼材からの炭が還元剤として働き，同様にマグネタイトが生成する．

$$6Fe_2O_3 + C \rightarrow 4Fe_3O_4 + CO_2 \quad \cdots (3)$$

(1) 式の反応だけでは，土壌の帯磁率増加は起こらない．一方，マグネタイトはゲーサイトやヘマタイトの1,000倍程度の帯磁率を持っているので，(2) と (3) の反応によってマグネタイトがわずかでも生成すれば土壌の帯磁率は増加する．この帯磁率変化によって，結果として残留磁化強度も増加することになる．

さらに，被熱によって新たに熱残留磁化を獲得する．したがって，磁性鉱物変化が起こらなくても，土壌の残留磁化強度は増加する．火山灰質土壌で認められた残留磁化強度増加は熱残留磁化獲得で説明できる．

2.2 岩石の場合

一般に，岩石中には水和物（水酸化鉄）であるゲーサイトはほとんど含まれない．存在するとしても，岩石の風化表面にわずかに含まれるだけであろう．したがって，河川堆積物での大きな帯磁率増加は期待できない．しかし，土壌と比べて硬くて成形可能な岩石の場合には，熱消磁と呼ばれる処理が行える．そのため，残留磁化の強度変化だけでなく，方向変化から被熱の有無を判定できる．つまり，被熱により岩石が熱残留磁化を獲得する際には被熱時の地球磁場方向を記録するという現象に注目するのである．

古代人が周辺から集めてきた岩石の持つ残留磁化方向は，石を配した構造物(配石遺構)を作った際にはランダムであると考えられる．その後，炉として使用した後に岩石は被熱温度に応じた熱残留磁化を獲得する．マグネタイトやヘマタイトのキュリー温度（それぞれ，580℃と675℃）以上で岩石が被熱した場合には，元の残留磁化が熱残留磁化に置き換わり，その方向は被熱時の地球磁場方向に揃う．また，キュリー温度以下の被熱であれば，その温度で消磁されなかった元の残留磁化と，新たに獲得した地球磁場とほぼ平行な熱残留磁化の両方が岩石の残留磁化となる．この原理を示す実験結果を以下に示す。

赤色砂岩と玄武岩を，30 分間，400℃で加熱した後，地球磁場の下で冷却し，熱残留磁化を獲得させた．その後，それら試料の段階熱消磁をしながら，磁化測定を繰り返した結果を図2(直交プロット、図中には被熱前の残留磁化も書き加えている)に示す．この図中で各点の並びが折れ曲がる(磁化成分を分ける)温度は，赤色砂岩では400℃，玄武岩では420℃であり，被熱温度（400℃）をかなり忠実に示している．折れ曲がり温度以下の低温磁化成分は被熱により獲得された熱残留磁化であり，それ以上の温度で消磁される高温磁化成分は被熱以前に両岩石試料が保有していた残留磁化（熱によって影響を受けなかった残留磁化）である．このように，加熱実験と段階熱消磁実験の結果は，岩石が被熱歴を残留磁化として記録していること，さらにどの程度の被熱温度であったかを決定できることを示している．この方法を実際の配石遺構に適用した際に大きな情報となるのは，低温磁化成分の方向である．もし，岩石や礫で構築された配石遺構が，使用当時のまま移動しないで保存されている場合には，低温磁化成分の方向はその当時の地球磁場方向にほぼ一致する．この一致により配石遺構が火の使用に伴うものであることを確定できる．また，磁性鉱物のキュリー温度以上に岩石や礫が被熱した場合には，1つの磁化成分しか認められず，段階熱消磁結果は折れ曲がらない．しかし，その単一磁化成分の方向は被熱当時の地球磁場方向に揃うので，被熱したことと，被熱温度が含有磁性鉱物のキュリー温度以上であると結論できる．

3. 実際の被熱遺構探査例

これまでに種々の遺跡にて，遺跡表面土壌および石囲いや礫群などの岩石について、磁性による被熱探査が行われてきた．本講演では、こういった探査例の一部を紹介する．

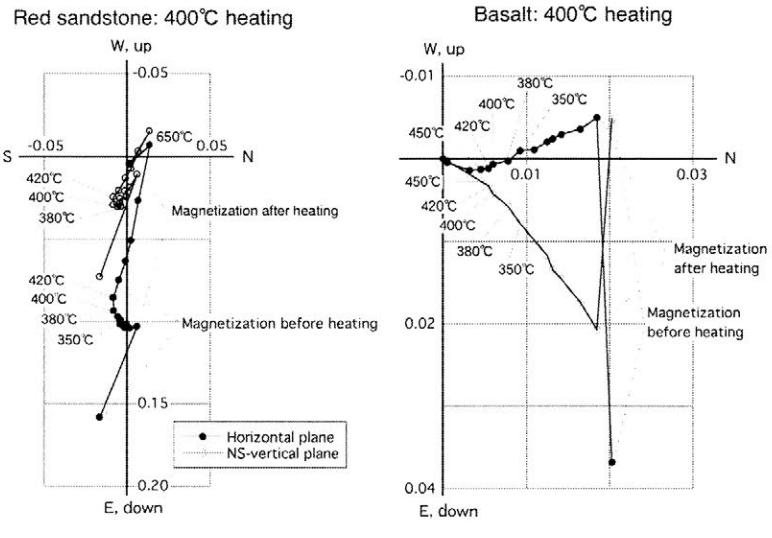


図2　400℃で加熱した岩石の段階熱消磁結果

煉瓦造建造物の予防的保存のための劣化診断法の構築
-第二報 旧富岡製糸場木骨煉瓦造建造物における温度湿度の緩衝とレンガの劣化診断-

○ 河崎衣美（筑波大学）、松井敏也（筑波大学）、
結城雅則（富岡市教育委員会）、斎藤英俊（筑波大学）

1 はじめに

本研究は煉瓦造建造物の部材の劣化を予防し保存するための、現状の調査および劣化診断とそれを基にしたモニタリング手法を提案し、劣化診断法の構築を試みる。

煉瓦造建造物は様々な用途で使われている現状があり、利用形態の変更によって建造物を取り巻く環境も変化する。煉瓦造建造物の劣化の発生や進行を抑制しながらその価値を保つために、煉瓦造建造物の利用形態が部材に与える影響を評価することが重要であると考える。そして継続的なモニタリングによって劣化に対処する必要がある。本研究では温度および湿度の微気象モニタリング、レンガの劣化モニタリングの２つの手法を用いて煉瓦造建造物の管理者や担当者が主体となる、予防的保存法にアプローチした。第一報では吸水放湿試験からレンガの物性を明らかにし、外部の温湿度変動の建造物内部への応答性について報告した。本報では活用および未活用の煉瓦造建造物内部の温湿度環境の解析に加えてレンガの劣化診断結果について報告する。

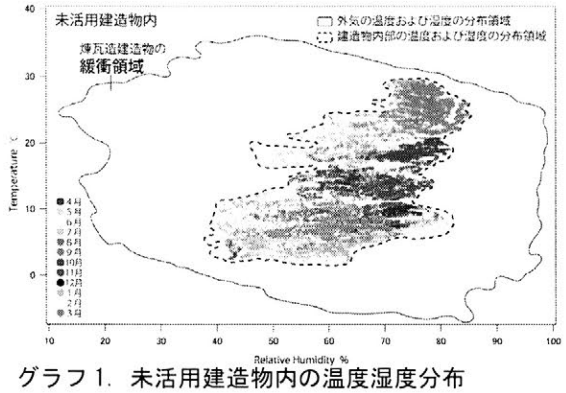
2 調査対象

国指定史跡「旧富岡製糸場」は群馬県富岡市に位置する日本初の官営模範器械製糸工場である。本研究では、「旧富岡製糸場」の中で明治５年から明治８年の間に建造された木骨煉瓦造建造物を調査対象とした。現在史跡全体の整備や活用方法を検討する段階であり、今後の活用に向けた保存対策が求められている。

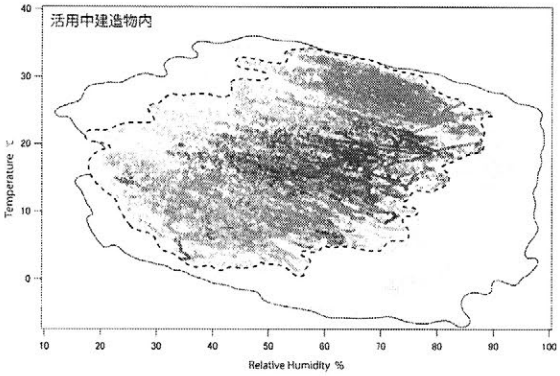
3 煉瓦造建造物内部の温度および湿度の微気象モニタリング

木骨煉瓦造建造物の内部空間と同建造物周辺の外部に温湿度ロガーを設置した。測定は2008年４月８日から開始し、測定間隔は活用中建造物内では15分間隔、未活用建造物内および周辺外部においては30分間隔とした。2008年度の全計測値を温度および湿度のグラフに表し 、月毎に温度および湿度の標準偏差を算出した。建造物の温度および湿度の緩衝能力の把握にはグラフ１に示すとおり、外気の変動幅と内部の変動幅の間の領域に着目する。この領域が建造物の緩衝能力を示し、大きいほど緩衝能力が大きいといえる。緩衝能力の増大には建造物の過度の負荷が予想される。活用前後の緩衝能力のモニタリングによって建造物とその部材の変化を推測することが可能となり、負荷を軽減する早期の保存対策が可能となる。

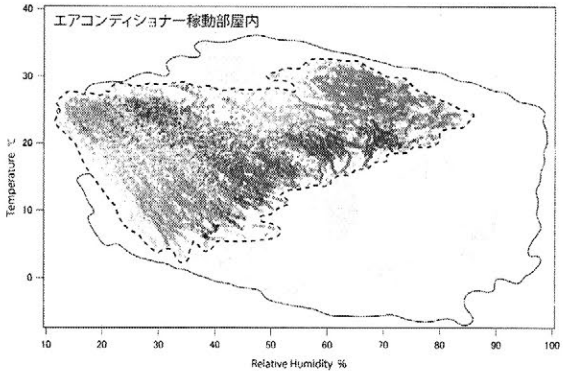
活用および未活用による木骨煉瓦造建造物の緩衝領域の差を調査した。結果をグラフ１からグラフ３に示す。グラフ１は未活用建造物内、グラフ２は活用中建造物内、グラフ３はエアコンディショナー稼動部屋内における縦軸に温度、横軸に相対湿度をとったグラフである。建造物の扉や窓の開放を伴う活用によって未活用の建造物よりも冬期から春期にかけて空気が乾燥する状況となることがわかった。エアコンディショナーを稼動させて活用する場合は外気と建造物の部材および内部の温度および湿度の差によって結露が生じる危険性が特に大きいので、部材に接する空間と部材との温度差を小さくするためにエアコンディショナーを稼動させる時間帯や室内の内装などに関する工夫が必要となる。



グラフ１．未活用建造物内の温度湿度分布



グラフ 2. 活用中建造物内における温度湿度分布



グラフ 3. エアコンディショナー稼動部屋内における温度湿度分布

4 煉瓦造建造物におけるレンガの劣化モニタリング

目視でレンガ一つ単位での劣化診断を行った。劣化診断基準は建造物の管理者や担当者が主体となってモニタリングを行うことを想定して作成し、レンガの主要な劣化要因である塩類風化と凍結破砕による粉状化や剥離等の劣化現象のレベルを三段階に区分した。記録図面と記録内容のデータ化(表計算ソフト、ドローソフトの使用)、解析を行った。調査レンガ総数と損傷レンガ数を集計し、劣化状況の解析を行った。これらを定期的に行い、レンガの劣化のモニタリングを行う。調査対象は木骨煉瓦造建造物でほぼ同様のつくりを持つ、東繭倉庫(活用中の建造物)および西繭倉庫(未活用の建造物)の外壁レンガである。

調査の結果を表 1 に示す。全壁面での損傷割合を比較すると東繭倉庫は西繭倉庫と比較して損傷割合が大きく、東繭倉庫の損傷割合は西繭倉庫の損傷割合の 3 倍以上であった。この差が生じた理由としては立地条件や建造時の技術的な問題、利用履歴の違い、および現在活用中と未活用の建造物であることの差などの影響が考えられる。今後、温度湿度モニタリングおよび構造調査などの結果を加味し、要因を解明する必要がある。劣化の傾向として、日射量が多いと推測される壁面において塩類風化や凍結破砕などが主な要因と思われる損傷レンガ数が多く、水が滞留しやすいと推測される部分においても同様の損傷のレベルが大きい結果となった。今後、表面温度計測などの調査が必要である。建造物による外気の温度および湿度の各緩衝領域の変化が起きる要因の一つとして部材の劣化が挙げられるため、温度および湿度の微気象モニタリングの結果と合わせて部材の劣化の進行の有無を判断する必要がある。

表 1. 東西繭倉庫における調査数と損傷割合

	調査レンガ数(個)		損傷割合(%)	
	東繭倉庫	西繭倉庫	東繭倉庫	西繭倉庫
北壁	5697	5338	7.92	3.62
南壁	5017	5093	1.97	1.20
西壁	44459	48165	2.47	1.40
東壁	49613	42044	10.41	2.74
全棟	104786	100640	6.50	2.07

5 まとめ

温度湿度測定から建造物の部材が持つ緩衝能力を図示し、個々のレンガの劣化診断カルテを作成した。これらによって煉瓦造建造物の予防的保存に必要な基礎資料とそのモニタリング手法の提案を行った。立地環境や構造調査などの建築的手法を用いた成果と合わせることで煉瓦造建造物の保存に役立てることができると考えられる。煉瓦造建造物の管理者や担当者が主体となる予防的保存の手法が必要であり、この実現のためには建造物を取り巻く地域や住民との連携など、モニタリングの実施体制の確立が不可欠である。

[参考文献]
朽津信明:「文化財としての煉瓦の劣化」マテリアルライフ学会誌 17,pp.7-11,2005
高見雅三・石崎武志:「『北海道開拓の村』の歴史的建造物の壁面劣化調査」保存科学 45, pp.241-249,2006
鉄道総合技術研究所編:「レンガ・石積み、無筋コンクリート構造物の補修、補強の手引き」鉄道総合技術研究所, pp.3-13,1987
水野信太郎:日本煉瓦史の研究,法政大学出版局,pp.39-42,1999

ミリ波およびテラヘルツ波の文化財への応用 I
－層構造調査へのテラヘルツ波イメージング技法の基礎研究－

○高妻洋成（奈文研）・金旻貞（京大院）・福永香（国立情報通信機構）・碇智文（スペクトルデザイン）・
脇谷草一郎（奈文研）・降幡順子（奈文研）・藤原裕子（京大院）・藤井義久（京大院）

1．はじめに

近年、「安心・安全」という観点からテラヘルツ波（波長30 μm～1 mm）およびミリ波（波長1 mm～10 mm）の応用技術が開発されてきている。これらの波長帯の電磁波には、「電波のように不透明なものでも透過する」という性質と「光のように物質特有の吸収スペクトルを得ることができる」という性質がある。特にテラヘルツ波はその周波数に対する物質の応答が分子そのものの性質を反映するため、X線や赤外線などの分光技術と比べ、物質固有の情報が得られやすい。また、有機物、無機物の混合物であったり、表面に汚損物質が堆積する状況もある文化財の分析にも適しているということが期待できる。

生活の「安心・安全」の技術は観点を変えれば、文化財に対する「安心・安全」の技術としても利用することができる。本研究では、このテラヘルツ波とミリ波を利用した新たな分析調査技術を文化財の調査・研究・保存に応用するための研究をおこなうことを目的としている。

今回報告するテラヘルツ波イメージングにおいては、テラヘルツ波が泥などの被覆層を透過した後、彩色層により反射され、再び被覆層を透過し、検出器により検出されることで彩色層を確認することになる。したがって、イメージングをおこなう際には彩色層に含まれる色材および被覆層を構成する物質のテラヘルツ波との相互作用を考慮に入れなければならない。当然のことながら、彩色層に含まれる色材はテラヘルツ波をよく反射することが望ましく、被覆層はテラヘルツ波をできるかぎり反射・吸収することなく透過させる必要がある。今回は、テラヘルツ波を用いたイメージングをおこなう際の基礎実験のひとつとして、泥および漆喰により被覆された彩色層の検出について得られた実験結果を報告する。

2．実験

2 cm（放射方向）×2 cm（接線方向）×5 cm（繊維方向）に調製したスギ木材試片の板目面に、水銀朱を用いて試料番号を記入し、彩色層とした。さらに、その上に粒度を調整した土（粒径840-177 μm, 177-37 μm, 37 μm以下）を被覆層として厚さ2 mmおよび6 mmにそれぞれ塗り重ねた。また、漆喰を被覆層として1～5 mmの間で1 mmおきに厚みを変えて塗布した試験片も調製した。

これらの試験片に対して、Picometrix製T-Ray 4000を用いてテラヘルツイメージングをおこなった。スキャン条件は、ワークディスタンスが15～20 mm、ピクセルサイズ0.3 mm×0.3 mmでスキャン速度は6 mm/secであった。

3．結果と考察

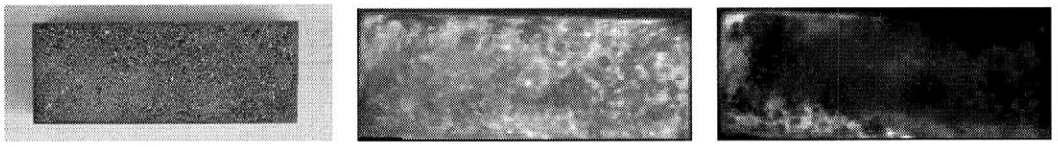
試験片の写真、得られたスキャンデータおよび時間帯を予測して断面データを得て再構築した画像の一部をそれぞれ左から順に示す。

土を被覆層とした場合、粒径が840-177 μmおよび177-37 μmの土の場合、イメージングにより彩色層としての水銀朱の数字を確認することができなかった。これに対し、粒径が37 μm以下の場合には、塗布厚さが2 mmの時にイメージングにより彩色層を確認することができ、さらに塗布厚さが5 mmの場合には時間帯を予測して断面データを得て画像を再構築したところ、明瞭に彩色層を確認することができた。以上のことから、土の粒径が用いたテラヘルツ波の波長よりも十分小さい場合

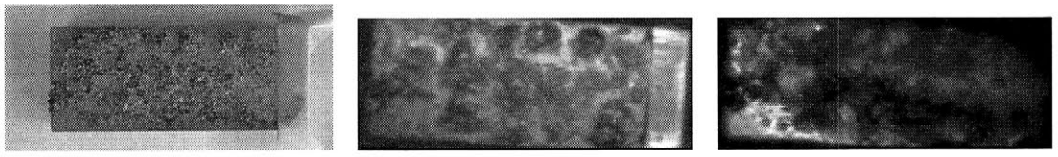
には、テラヘルツ波の散乱が生じないため、良好なイメージングができるものと考えられる。また、粒径が37 μm以下でテラヘルツ波の波長よりも細かい土の場合には、その被覆層が5 mm程度であってもイメージングが可能であるということができる。泥などで被覆された彩色層をイメージングするにあたっては、被覆している土の粒径およびその層厚を考慮する必要があるといえよう。

一方、厚さを変えて塗布した漆喰を被覆層とした場合、5 mmまでの層厚ではいずれの場合もイメージングをおこなうことが可能であった。このことは、漆喰を下地層とする壁画の場合、時間領域分光法を用いることにより、その断面データから漆喰層中の状態を推測することが可能となることを示すものである。

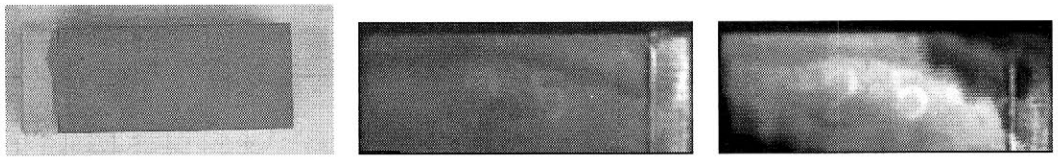
土：粒径840－177 μm－厚さ2 mm



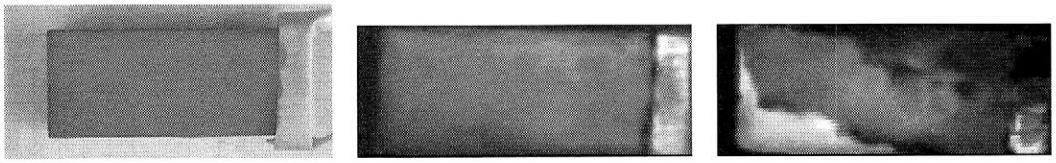
土：粒径177－37 μm－厚さ2 mm



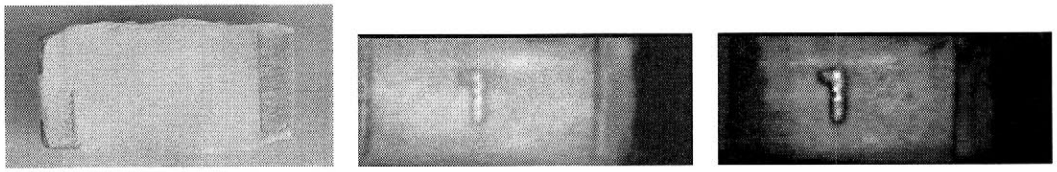
土：粒径37 μm以下－厚さ2 mm



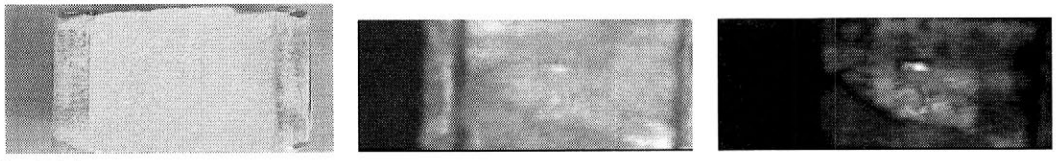
土：粒径37 μm以下－厚さ5 mm



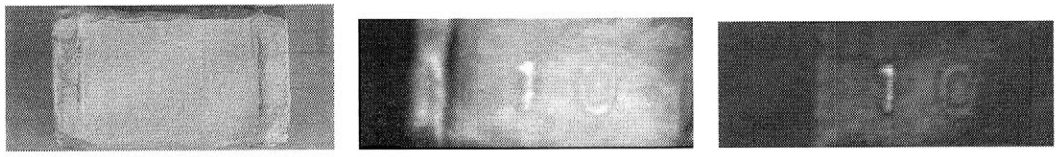
漆喰：厚さ1 mm



漆喰：厚さ3 mm



漆喰：厚さ5 mm



「地域」を考慮した持続可能な文化遺産保存・活用活動の可能性(2)

～岩手県大槌町大槌代官所跡水浸出土木製遺物の保存処理および収蔵を事例として～

○手代木美穂(前東北芸術工科大学)、鎌田精造(岩手県大槌町教育委員会)、松井敏也(筑波大学)、米村祥央(東北芸術工科大学)、片岡太郎(東北大学学術資源研究公開センター)、松田泰典(JICA 大エジプト博物館保存修復センタープロジェクト専門家)

1. はじめに

地域文化遺産を地域の風土と手で守り伝えていくことが改めて見直されている。それぞれの地域における日常生活と融合するかたちで、数々の地域文化遺産が継承されてきた。地域の方々が熟知している地域の情報と文化財保存科学の活動が地域で協働し、それぞれの知識を融合し、地域の現状に見合った方法を推進することで持続可能な循環型保存を生み出すことができると考えている。平成 14 年度より継続的に行ってきた岩手県大槌町大槌代官所跡遺跡より出土した水浸木製遺物約 500 点を「地域」の町民の手で、「地域」の気候・風土の中で保存処理し、その保存・活用方法の模索を進めてきた。まさに、地域における地域住民による地域のための文化遺産保存・活用活動である。

2005 年にはその1として出土木製遺物の樹種や遺物の状態および大槌町の自然環境を考慮して、含浸強化剤にポリエチレングリコール(PEG)を選定して、分子量が異なる二種類の PEG(400 と 4000)を併用する 2 段階法含浸処理後、冬期寒風乾燥処理を施す方法を選定したこと、その試行の結果、大きな変形などは認められなかったことから他の出土木製遺物に対しても同処理を実施していること、資料の今後の保存活動を念頭に、地元小学生・中学生を対象にこの保存活動を啓発するためのワークショップを開催していることを報告した。

今回はその 2 として、この大槌方式で保存処理と表面処理について、また、保管・収蔵の中で行った研究結果について報告する。

2. 保存処理

2. 1 含浸処理

含浸処理は保管されていた屋外ゴムプール(6m×2m×0.8m)を利用し、ビニールハウスを建てて行った。通電施設がなかったため、常温で固体であるPEG4000を溶解させ濃度を上げる場合には、携帯用ガスコンロで溶液を湯せんで温めながらPEGを溶かし、プールに投入した。10か月で約10%づつPEG濃度を上昇させ、40%に調製できたところから順次、針葉樹の木製遺物の乾燥処理を開始した。一般的に、広葉樹材と比べ針葉樹材は腐朽程度が小さく、収縮・変形も少ない傾向にあるといわれている。本処理の対象となる木製品群のうち、比較的小型で針葉樹から成る資料は、PEG含浸によりある程度補強されていると考えた。広葉樹木製遺物に対しての最終濃度は49. 7%まで調製し含浸させた。

2. 2 乾燥処理

乾燥処理はビニールハウスおよびゴムプールに隣接している旧源水寮の調理場施設を利用した。大槌町は冬季から春季にかけ、低温で比較的温度変動が少なく、風量が多く湿度が低いこと、コンクリート床で、資料の重量に十分耐え得られる。以上の理由から、この場に 150×250×225(cm)の棚を鋼管で組み、木製スノコを棚板とした。この鋼管の組み方は安全と利便性を十分考慮して設計し、強度計

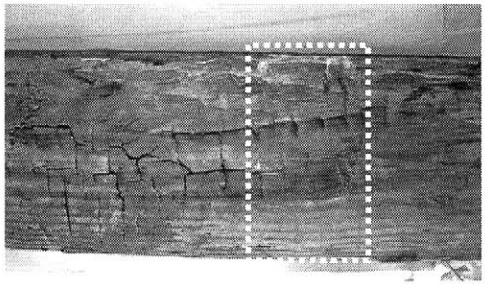


図 1. 井戸枠資料 亀裂 PEG 塗布部分(□)

算を専門家に依頼した。乾燥処理１ヶ月を過ぎたところで資料の一部に亀裂や陥没部分を確認し、その部分は他の部位に比べて黒色を呈していた。当初は乾燥速度の問題と考え、乾燥速度を遅くするためにさらに亀裂・陥没部分の養生を行った・乾燥棚にカーテンをつけるなどを施したが改善は見られず、高濃度 80%PEG 溶液を湯煎しながら塗布した後、経過観察を行なった。高濃度 PEG 塗布は亀裂の広がりを防ぎ、表面を強化していると観察できたため(図 1)、乾燥 2 ヶ月目にすべての亀裂・陥没に同様に施行した。亀裂・陥没の要因の一つとして、その部分が褐色腐朽菌によって侵されたことにより、劣化程度が高くなっていたためと考えられる。このような腐朽を受けた木材が乾燥した場合、大槌町と同様に亀の子状の亀裂が発生すると報告されている。

2. 3 表面処理

一部資料の表面には乾燥処理の際に十分にふき取れなかった PEG が白色に析出していた。このままで、展示活用にも支障が出るため、協働で表面処理を行った。運搬可能な資料に対しては筆・ドライヤーとエタノールを用いた。安全対策として、マスクの着用と室内換気を徹底した。析出した PEG を市販のドライヤーで溶解させた後、キムワイプを用いて除去した。次に、100wt.%エタノール溶液(常温)をキムワイプに浸み込ませて、PEG により見かけ上黒ずんだ部分に貼り、PEG が十分に溶解したら剥がして、乾燥したキムワイプを用いて表面の溶液を拭い取り、ドライヤー(送風)をあてて乾燥させることにより、エタノールを除去した。運搬が困難な大型の資料に対してはバキューム機能付きスチーム洗浄機とエタノールを用いて行った(図 2)。この装置は汚れを高温スチームで溶解させて吸い取るが、バキュームすることにより水の飛び散りが抑えられるため、作業場所をドライ管理したい時に最適な洗浄機である。最近、文化財分野では糖アルコール法において、ラクチトール結晶化後の洗浄に利用されている[1]が、PEG の表面処理にも利用できることが実証された。

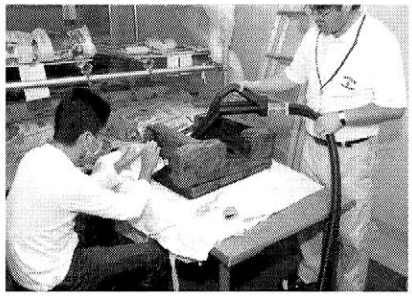


図 2　バキューム機能付きスチーム洗浄機を利用した表面処理作業

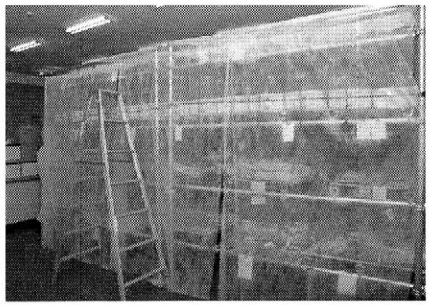


図 3　大槌中央公民館内の収蔵棚外観

3. 収蔵管理

保存処理が終了した資料は大槌町中央公民館に移設し、より温度湿度の変化が少ない場所に収蔵棚を乾燥棚同様に鋼管で組み立て、1棚4段のものを 2 基設営した(図 3)。棚や段位置の違いでの温度湿度などの差異を確認するため、6 か所にデータロガを設置し、30 分毎に測定した。結果、測定場所の違いによる温湿度変動傾向に大差なく、春から夏にかけて上昇し、秋から冬にかけて下降した。露点温度は棚の場所の違いに係わらず、6 月の梅雨時期から夏にかけて高い値を示して棚温度に近づいた(図 4)。よって、この時期には除湿機稼働が必要であることが明確になった。収蔵棚には外部環境との緩衝および汚れの堆積を防ぐために不織布カーテンをかけた。また、地震対策として、ゴム紐を棚段に回した。

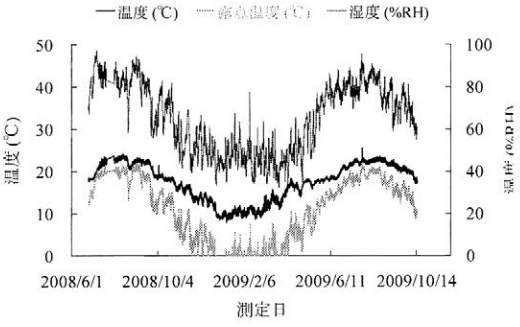


図 4　高湿度となる棚の環境変移

1)伊藤幸司、藤田浩明、糖アルコール含浸法における処理設備の改善-より安価で安全な新しい試み-、日本文化財科学会第 25 回大会研究発表要旨集、pp.338-339、2008

桜井茶臼山古墳の木棺の劣化状態

○酒井温子（奈良県森林技術センター），
奥山誠義，岡林孝作，豊岡卓之，寺澤薫（奈良県立橿原考古学研究所）

1．はじめに

奈良県桜井茶臼山古墳の木棺が、平成21年に石室から取り上げられたことを受け、顕微鏡観察により劣化状態を把握するとともに、蛍光X線分析により木棺に含有される成分を分析し、木棺はなぜ残ったのかについて考察を試みた。

2．試料と方法

2.1　試料

木棺の13カ所から採取した少量の試料No.1～13を用いた。樹種はコウヤマキであった。試料採取時、木棺は石室から取り上げられ、付着していた土壌がほとんど除去され、保存処理施設にて乾燥しないように散水した状態で保管されていた。

2.2　方法

各試料からカミソリ刃を用いて、木口面（仮道管を横断する面）とまさ目面（仮道管を縦断する面）の切片を作製し、光学顕微鏡により観察を行った。この際、細胞壁の分解の様子と存在する微生物（残骸含む）に注目した。

また、一部の試料（No.1, 2, 4, 5, 9および10）については、蛍光X線分析装置（リガク製RIX2000）にて、木材に含有されている元素の半定量分析を実施した。試料が少量であったため、X線照射面は、直径5mmとした。

3．結果と考察

3.1　劣化状態

顕微鏡観察の結果、残存している木棺の劣化は軽度であったが、多くの部分において、図1に示すように、木材腐朽菌（担子菌）による分解が観察された。また、木棺の底部においては、図2に示すように、軟腐朽菌による分解が確認されたが、これは、棺床土に接触していたためと考えられた。今回の顕微鏡観察でもっとも劣化が少なかったのは、遺体安置面であった。

3.2　木棺に含有される成分

分析を行った6試料について、検出された元素を表1に示した。今回の分析は半定量法であるため、表1の値は1～2割程度の誤差を含んでいる。

木材にもともと含有されるカルシウムやカリウム、土壌由来と推定されるシリカや鉄の他に、全試料で銅が検出された。一般に、木材中[1]および土壌中[2]の銅の平均含有率はいずれも数ppmかそれ以下である。本試料の銅含有率は0.01～0.08%すなわち100～800ppmと極めて高いことから、木材や土壌のみに由来するとは考えにくく、副葬品の銅製品に由来する可能性が考えられた。桜井茶臼山古墳では81面以上の数の銅鏡が副葬されていたことがすでに明らかとなっている。

銅は抗菌作用を持ち、多くの木材腐朽菌に対して防腐効力を有している。図3に、木材中の銅の含有率と腐朽による重量減少率の関係を示した[3]。木材腐朽菌が木材試験体を腐朽すると、すなわち、木材の細胞壁を分解すると、木材試験体の重量は減少する。ここでは、5菌株について示したが、金属に耐性を持つオオウズラタケを除き、4菌株については、銅の含有率が約0.05%以上で腐朽による重量減少はほとんど生じない。

自然界にはオオウズラタケのように金属に耐性を持つ特殊な木材腐朽菌もわずかながら存在するものの、この木棺に含まれる銅は、多くの木材腐朽菌に対して防腐剤として働いた可能性が高い。

3.3　木棺の残存理由

桜井茶臼山古墳出土木棺には腐朽が観察されたが、腐朽の速度はきわめて遅かったと推定され、今日まで木棺が残存した理由としては、

①コウヤマキで作られていたこと

②銅による防腐効果

③埋葬施設の構造

が挙げられる。

①について補足すると、コウヤマキは、国産材の中でもっとも高い耐朽性を持つ樹種の１つで[4]、かつ樹木の初期成長速度は遅いものの最終的には大径木となる。

②については3.2で述べた通りである。

③については、桜井茶臼山古墳の石室は、当初、密閉性が高い構造であり、新たな微生物の侵入がほとんどないこと、担子菌や軟腐朽菌が生育するのに必要となる酸素が新たに供給されにくいこと、気温が低い状態で保たれること等は、微生物の活動を抑制したと考えられる。また、石室の石材には水銀朱が塗布されていたが、水銀は銅よりもさらに高い防腐効力を有することから[5]、石室は殺菌室に近い環境であったと推定される。盗掘により石室内には通気が生まれ土砂の流入が生じたが、木棺は地下深くに位置したことから、酸素の供給は制限され、気温は低く安定した状態が続いたと考えられる。

引用文献

1) 城代進ら編：第2章5.6無機成分．木材科学講座４「化学」海青社，76-78 (1993).
2) (社)日本分析化学会：http.//www.jsac.or.jp/srm/srm-n3-1.pdf
3) 酒井温子：未発表.
4) （社）日本木材保存協会編：1.5.2 主要樹種の耐朽性．「木材保存学」文教出版，65-67 (1982).
5) 高山正彦：無機系抗菌剤実用講座3.無機系抗菌剤の抗菌性とその作用機構（金属イオンについて）．防菌防黴，Vol.24，No.8，561-567 (1996).

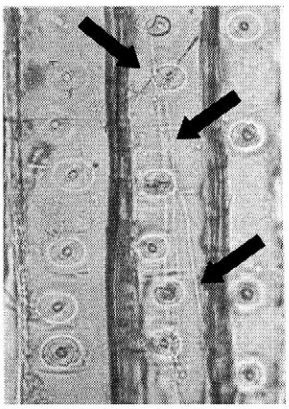


図１ 木材腐朽菌の菌糸

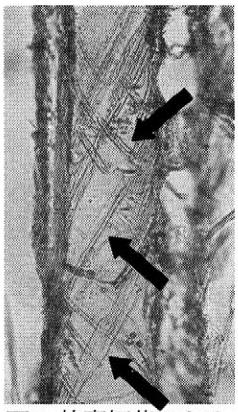


図２ 軟腐朽菌による分解痕

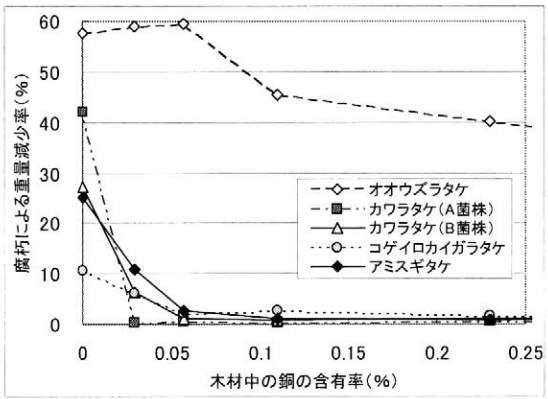


図３ 木材中の銅の含有率と腐朽による重量減少率の関係[3] (JIS K 1571 に準拠)

表１ 含有率（%）

試 料*	Ca	K	Mg	Si	Al	Fe	Cu	Sn	Pb	Hg	S
No.1	0.28	—	—	0.01	0.04	0.08	0.06	—	—	±	0.11
2	0.33	—	—	0.03	0.05	0.21	0.08	—	—	±	0.10
4	0.51	0.14	—	0.17	0.17	0.20	0.08	—	—	±	±
5	0.27	±	—	±	0.03	±	0.05	—	—	—	0.09
9	0.25	0.13	—	0.20	0.24	0.17	0.06	—	—	±	0.06
10	0.62	—	—	0.01	0.02	0.05	0.01	—	—	—	0.09

* 試料No.1, 2：木棺の端部、No.4, 9：遺体安置面、No.5, 10：底部

—：検出されない。±：わずかに検出されるが含有率は算出できない。

遺伝子発現解析による糸状菌のモニタリング

○杉山 智昭，小林 幸雄（北海道開拓記念館）

【はじめに】

薬剤を用いた燻蒸処理は文化財に発生する有害生物の抑制・死滅を図る上で信頼性の高い手法である。しかし，環境や人体に対する影響あるいは博物館経営費削減による費用面から，現在では大規模な運用がためらわれる状況にある。IPM の概念では上記の状況に対して，有害生物の発生を初期段階で把握することにより薬剤使用量を最適化（最小化）することを提唱している。文化財に発生する生物劣化のうち，獣害や虫害に関しては徹底した日常点検（目視）によって比較的，発生・拡大の兆候をつかみやすいが，糸状菌，バクテリアなどの微少な生物に関しては一般的な目視観察や顕微鏡観察によって，その初期侵入を把握することが非常に困難である。また，被害を受けた資料に適切な処理（処置）が施されたか否か，その効果を確認し再発を防止するためには微生物の生理活性をモニターする技術が求められる。

そこで本研究では，LAMP(Loop-Mediated Isothermal Amplification)法，RT(Reverse transcription) -LAMP 法などの分子生物学的手法を用いて，木造文化財に深刻な腐朽被害を及ぼす担子菌を例に文化財に発生する微生物を侵入初期段階で検出し，その生理活性の捕捉を可能とする技術開発について検討した。

【試験方法】

1）供試菌

褐色腐朽菌の *Coniophora puteana*（NBRC6275），および *Serpula lacrymans*（NBRC8697）を試験に用いた。

2）核酸抽出試料の調製

各供試菌を 7～14 日間，ポテトデキストロース寒天（PDA）培地でプレート培養し，十分発達した菌そうを外径 8mm のコルクボーラーで培地ごと打ち抜いたものを核酸抽出試料とした（以下，無処理試料とする）。併せて，上記のプレートを暗所にて 10 ヶ月間乾燥させたもの（以下，乾燥処理試料とする），オートクレーブ（121℃，2 気圧，15 分間）にかけたもの（以下，熱処理試料とする）についても核酸の抽出を実施した。

3）LAMP，RT-LAMP 分析

公開 DNA データベース上の塩基配列情報をもとに供試菌の β-tubulin をコードする遺伝子の 6 領域に対してプライマーセットの設計を行った。核酸抽出試料より抽出したトータル DNA を鋳型として LAMP 反応（63℃,45～60 分）を行い，反応産物を電気泳動し DNA 増幅の有無を確認した。得られた増幅産物を制限酵素で処理し，電気泳動によりバンドパターンを観察した。抽出したトータル RNA（抽出溶液 5μl）については RT-LAMP 反応（63℃, 60 分）の鋳型として供し，標的 cDNA の増幅を試みた。反応終了後，反応産物を電気泳動にかけ cDNA 増幅の有無を確認するとともに，

増幅反応の副産物として生じるピロリン酸マグネシウムによる反応溶液の濁度上昇を観察した。

【結果および考察】

抽出したトータルDNAを鋳型としてLAMP反応を行った結果，乾燥処理試料，熱処理試料を含む全ての試料からDNAの増幅が確認された。また，各DNA増幅産物を制限酵素によって消化したところ，ゲル上のバンドは予測されるサイズに集約し，増幅産物が標的配列由来であることが確認された。さらに鋳型DNA量を1pg～100pgに調製し，LAMP反応を行った結果，今回用いたプライマーセットと反応条件によって1pgまでのトータルDNAから標的遺伝子領域を安定して増幅可能であることが明らかとなった。トータルRNAを鋳型としてRT-LAMP反応を行い，反応産物を電気泳動した結果，無処理試料より抽出した鋳型から標的RNAに相補的なcDNAの増幅が確認された。

それに対し，乾燥処理試料，熱処理試料より抽出した鋳型をRT-LAMP反応に供した場合，cDNAの増幅は認められなかった（**図1**）。ピロリン酸マグネシウムによる反応溶液の濁度上昇を観察した結果，電気泳動と同様，無処理試料より抽出した鋳型を用いた場合にのみ，反応溶液の濁度上昇が観察され，標的遺伝子の発現が確認された（**図2**）。

以上の結果は，糸状菌（担子菌）の分布（発生）範囲を高精度で把握し，その生理活性を評価するためのツールとしてLAMP法，RT-LAMP法が有効であることを示唆するものと考えられる。特にLAMP法，RT-LAMP法についてはPCR法など他の分子生物学的手法と比較し，反応に要する時間が短い，等温反応系であるためサーマルサイクラーなど特別な機器を要さない，電気泳動操作が不要という利点を有している。従って本手法を文化財に発生する（した）糸状菌のモニタリングに応用することにより，従来の手法では困難であった高精度な菌害の予防・制御・管理を簡易かつ迅速に達成できるものと考えられる。

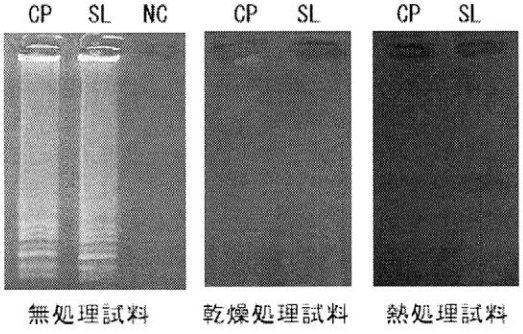


図1　RT-LAMP反応によるcDNAの増幅
凡例）CP: *Coniophora puteana*, SL: *Serpula lacrymans*
NC: Negative Control

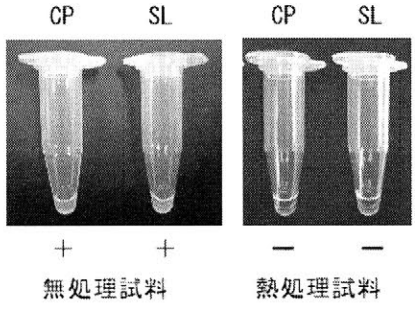


図2　濁度観察によるcDNAの増幅確認例
凡例）CP, SL：図1参照，＋：濁度上昇あり，
－：濁度上昇なし

【謝　辞】

本研究を実施するにあたり，分析機器の使用を快諾していただきました北海道立総合研究機構　食品加工研究センターの川上 誠氏，長島浩二氏に深く感謝致します。

絹繊維の分解劣化における鉄還元菌の影響

○李素妍(筑波大学大学院)，松井敏也（筑波大学），
吉川英樹(日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門)

1　はじめに

出土鉄製遺物に付着している繊維の観察により、繊維の同定、鉄製遺物の埋葬方法などの情報が得られる。しかし、劣化が進行した繊維は鉄製遺物にわずかにしか残っていない場合が多く、繊維の観察および劣化原因を調べることが難しい。また、遺物を保存するために樹脂含浸の処理が行われると顕微鏡観察ができない[1]ので、繊維に関する情報取得が難しい。絹等の織物で包まれて埋設された鉄製遺物は、古墳の石棺が地下水や雨水の侵入により繊維が濡れることにより鉄表面に、微生物が繁殖しやすい環境を作る。これは鉄製遺物に対する微生物腐食を誘引するだけではなく、微生物は繊維の形態的変化に影響を与える[2]ので、繊維の微生物劣化をもたらすと考えられる。しかし、鉄製遺物のような金属に付着している繊維における微生物劣化の研究事例は少ない。微生物による繊維劣化の影響の知見は鉄製遺物の腐食のメカニズム解明にも役立つ情報となると考えられる。

本研究では、鉄製遺物に付着した繊維の劣化における微生物影響に関する情報取得を目的に、文献調査による繊維の種類や付着状況を参考にして、炭素鋼に精練した絹糸を巻いた試験片を用いる試験を行った。微生物は鉄製遺物の腐食に影響を与えると考えられている鉄還元菌を選んだ。繊維劣化の形態的変化を走査型電子顕微鏡等で観察した。

2　試験方法

試験片のサイズは 20x20x0.1mm の炭素鋼を研磨(＃120)してオートクレーブ処理した。絹糸を 1%NaOH 溶液で 60℃－30 分間洗浄した後、超音波洗浄器を用いて蒸留水洗浄を行った。絹糸をオートクレーブ処理し、炭素鋼に絹糸を 3 回間隔を開けて巻いた。この試験片を鉄還元培地 30mL に浸漬し鉄還元菌を加えて、静置培養した。比較試料として培地 30mL のみを用意し、オートクレーブ処理したバイアル瓶に流し込んで試験片を浸漬し微生物が存在しない実験を同様に実施した。培養 7 日、14 日、47 日後に走査型電子顕微鏡で繊維の形態的変化を観察した。同様に絹糸で炭素鋼表面全面を密に巻いた試験片を用いた実験を 7 日間行った。

3　結果と考察

炭素鋼に絹糸を 3 回巻いて微生物が存在する条件で実験した絹繊維を 7 日後に SEM(500 倍)で観察すると、その表面に約 10μm の結晶が生成されていた。この結晶は、下地の炭素鋼から溶け出した鉄イオンと培地に存在するイオンの結合により生成された鉄の腐食生成物であると考えられる。微生物が存在しない条件で行った実験では、絹繊維の表面で結晶の生成は確認されなかった。培養 47 日後、微生物が存在する条件で実験した絹繊維を SEM(500 倍)で観察すると、その表面に約 60μm の結晶が生成されていた。繊維の表面に微生物が繁殖し微生物腐食により結晶が生成している。これは繊維に物理的な影響を与え劣化が起こると推定される。微生物が存在しない実験では、絹繊維の表面で結晶生成や劣化が確認できなかった(図 1)。

炭素鋼表面の全面に絹糸を巻いて微生物が存在する条件で実験を行った絹繊維を 7 日後に SEM(500 倍)観察すると、絹繊維の隙間が密着し繊維間の空間が無くなっている。これは微生物の代謝生成物が繊維の隙間を埋めていると考えられる(図 2)。炭素鋼表面の全面に絹繊維を巻くと、微生物が活動する環境(微生物集合体であるバイオフィルムの形成の支持体となる場)が増え微生物が繁殖し微生物の作用が進むと推定される。写真から微生物の存在下の試料は絹繊維の表面が粗く変化し、繊維表面が劣化している可能性があることが分かる。一方、微生物が存在しない条件で実験を行った絹繊維の SEM(500 倍)観察では、隙間の密着が確認できず繊維表面は滑らかであった。

4　まとめ

鉄製遺物に付着した繊維の劣化に関する知見を得る為に、炭素鋼の存在下における絹繊維の微生物試験を行った。炭素鋼に付着している絹繊維に、微生物による鉄の腐食生成物の結晶が

形成されたこと、繊維劣化の可能性のあることが分かった。織物で包まれて埋設された鉄製遺物では繊維の存在が微生物の活動の場を提供し、繊維劣化や鉄製遺物の腐食に微生物が影響していると考えられる。

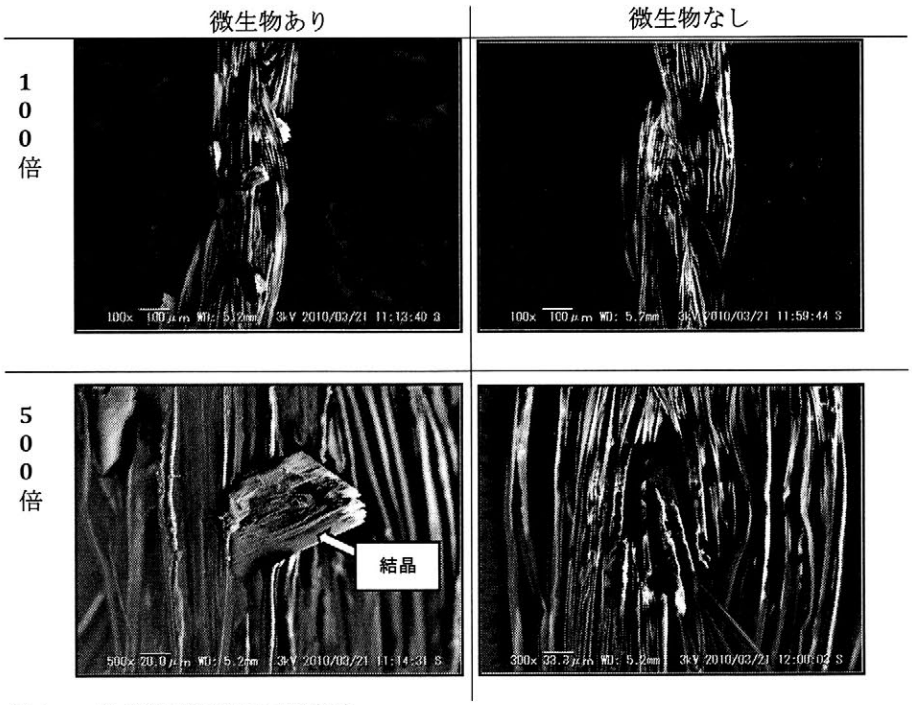


図1　47日後の絹繊維の表面観察
微生物が存在する培地の実験で絹繊維表面に結晶が生じ結晶の生成に微生物が関与することが分かった。

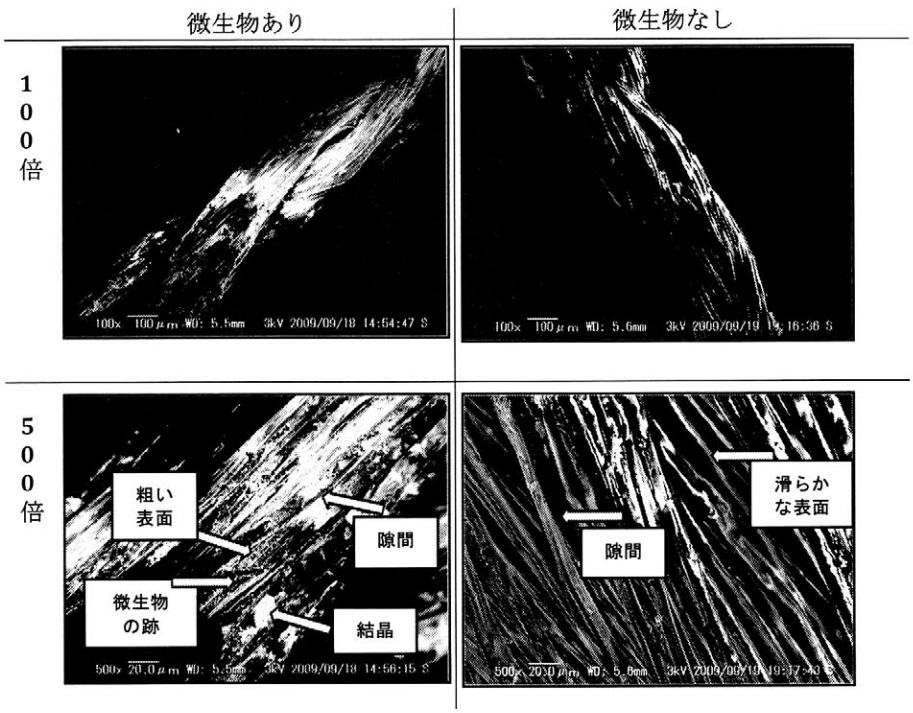


図2　7日後の絹繊維の表面観察(絹糸を密に巻いた実験)

参考文献
1　佐藤昌憲，絹文化財の世界，奈良文化財研究所，p.48，2005
2　繊維学会，繊維の形態，朝倉書店，p.366，1982

環境順応型収蔵庫システムの構築(第1報)

○西山要輔(本学会会員)、 大久保衛(ソダ工業) 新谷幸雄(サンロード) 西山要一(奈良大学)

1．はじめに

多くの博物館等の収蔵庫を調査するなかで、人工環境でありながら自然環境よりも文化財が劣化しやすい環境にあることが散見された。その現象は、適正範囲外の高温、高湿、低湿などのほかに、範囲内に保つ制御の為の繰り返しによる大きな温湿度変化速度がある。恒温恒湿から環境順応型の変温恒湿に展開を図る。装置の設計・施工の問題点のほか、適正運転や保守管理上の課題がある。高価な設備費や、電力料金や保守費用等の高い維持費も要因であり、出来るだけ特殊仕様を避け、取扱いの容易な省エネルギー型装置を計画し種々の検証を行っている。第1報では装置の概要と室内環境データ等について報告する。

2. 装置の概要

従来の収蔵庫は、恒温恒湿環境を目標として冷却・除湿・加熱・加湿のプロセスから構成されているが、重複制御の為にエネルギーの無駄も多く、制御変化の影響を受けることがある。新しい装置の概要は下記のとおりである。

1) 温度(顕熱)制御　空冷ヒートポンプ式高顕熱室内ユニットによるインバータ制御。

2) 湿度(潜熱)制御　デシカント方式により、低湿度時は外気より水蒸気を無給水で取り込み、高湿度時は室内より外部にドレンレスで放出する。空調装置の最大のトラブル要因である水配管を無くした。

3)空気清浄及び気流制御　ダクト式微粒子フィルターと静電効果の組み合わせにより、クリーン化と気流分布を改善。

4)緩やかな調湿制御　珪藻頁岩調湿材を室内に設置し、その吸放湿作用により湿度変化を緩和。

3．計測項目と計測装置

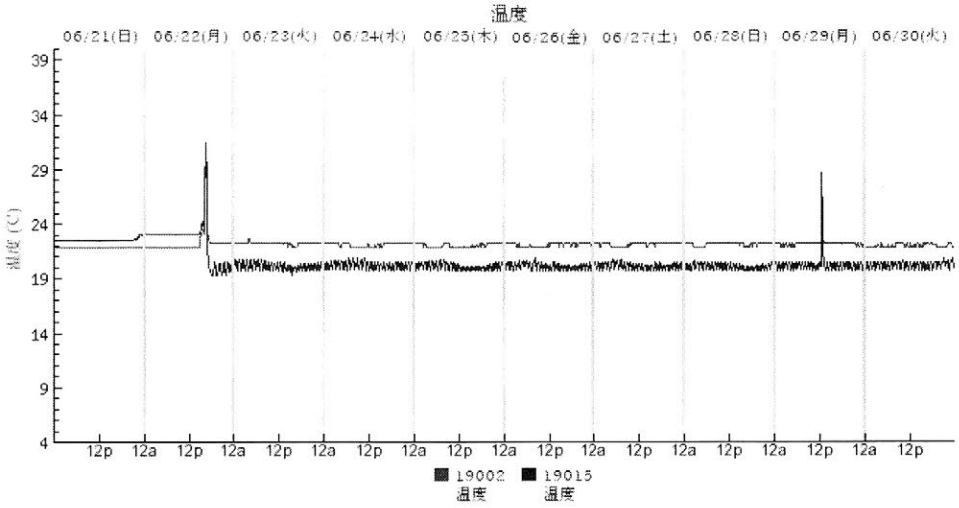
各データの連続測定を遠隔監視可能とする為、調査の結果アメリカで開発され、日本でも住環境の評価に使用されている下記仕様のＩＡＱモニターを採用した。

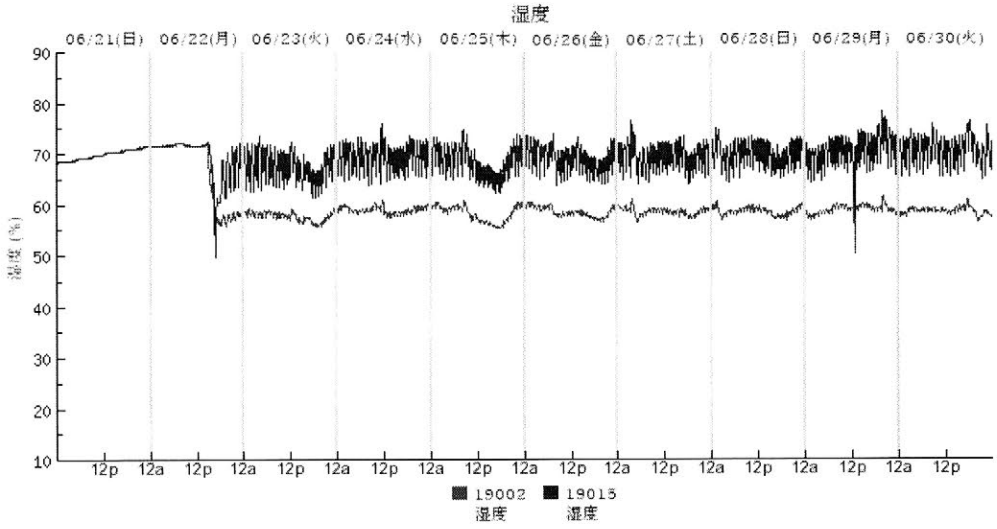
浮遊粒子(ホコリ)センサ	光散乱方式　0.5μm以上のサイズの粒子を計測
温度センサ	サーミスタ方式　計測範囲:0℃～40℃
湿度センサ	高分子薄膜方式　計測範囲:10%～90%RH
一酸化炭素(CO)センサ	電気化学方式　計測範囲:0～100ppm
VOC センサ	計測範囲(TVOC):0 ～ 4,000 μg/m³
二酸化炭素(CO2)センサ	非分散型赤外線吸収式(NDIR 方式)計測範囲 0～3000ppm
通信方式	内蔵プログラムにより、自動的に蓄積されたデータを送信

3．収蔵庫環境のデータ例

新しい装置を設置した奈良大学通信教育棟の第1収蔵庫、第2収蔵庫の2009年6月下旬の温湿度設定変更時のデータ例を示す。

調湿材を設置した第2収蔵庫はデータ19002であり、第1収蔵庫データ19015に比較して温湿度とも制御幅が改善されている。





5．おわりに

既設の収蔵庫に、新しい装置を設置して検証を行っているが初期調整に時間を取られ予定よりも計画が遅れている。

しかしながら、ほぼ予測したデータが得られており、さらに環境条件による劣化やエネルギー消費量の差の検証を進めていく予定である。

また、落下菌や気流分布等についても、季節等の変化に対応した計測を実施したい。

参考文献

奈良大学西山要一　奈良の文化財の大気環境、その他
ダイキン工業㈱　デシカ　カタログ及び技術資料
㈱サンロード　電石サニフィルタ　カタログ及び技術資料
鈴木産業資材㈱　豊ヘルス　カタログ及び技術資料
神栄テクノジー㈱　エアアドバイス　カタログ及び技術資料

西安唐代陵墓石彫像の保存修復

○西浦忠輝（国士舘大学）、岡田　健（東京文化財研究所）、根立研介（京都大学）、
矢野和之（文化財保存計画協会）、斉 揚・馬 濤・李 衛（西安文物保護修復中心）、
張建林（陝西省考古研究院）

1　はじめに

中国陝西省の唐代の陵墓（乾陵、橋陵、順陵）に多く所在する石彫像の保存、修復、整備について、5 年間にわたって日中共同プロジェクトを行った。これら石彫像の材質と劣化状況、基本的な保存対策と具体的な保存・修復処置について報告する。本プロジェクトは日中共同研究として、先端的な調査、研究が行われ、その成果に基づき実際の保存、修復処置がなされた。

広大な陵墓地域内に配置されていた石彫像の場合には、本来置かれていた場所に意味があると考え、本来あるべき陵墓全体の景観との調和が大切であるが、この点を踏まえての保存、修復、復元についての哲学と、状況に応じた臨機応変な方策についての問題点を実証的に提起したい。

2　石彫像保存修復の基本的な考え方

唐代に限らず、陵墓には多くの石彫像が遺されている。これら石彫像は独立した彫像であるが、陵墓と一体のものとして、その歴史的、美術的価値を有すると考えるべきであり、その保存、修復、整備は、遺跡としての陵墓全体の保護、活用計画に沿ったものでなくてはならない。

遺跡を整備するにあたり、まずオリジナルの位置に存在するということが、陵墓の石彫像では極めて重要である。次に重要なのはその形である。長い年月を経て、制作された当時の本来ものとは大きく異なり、倒壊、欠損しているものが多い。陵墓全体の歴史景観的価値を維持するためには、ある程度の復元的な修復も必要である。

保護対策として屋外石彫像に対し最も有効とされる覆屋の設置は、景観上の観点から不可能であるので、石彫像への直接的な保護処置が必要となる。劣化した石材の強化処置、破損した石材の修復処置はそれぞれの状況に応じて行なうが、そのための材料、技法を選択するにあたっては、上記の原則を充分踏まえる必要がある。

3　石彫像の材質と劣化

本プロジェクトの対象となった石彫像の材質は良質な石灰岩である。しかし、千年以上の長きにわたって外気に曝されたために、かなりの風化が見られ、表面層の脆弱化は共通した現象であった。また、外的、内的な応力によるとみられるクラックの発生と成長も見られた。一般的に発生したクラックから雨水が浸透すると急速に劣化が促進され、凍結融解現象が起こると、さらに破壊が早まる。また近年、中国では特に大気汚染の増加が問題となっていることから、雨水に溶けた汚染物質が化学的にも石材の劣化を促進させるため、石彫像を護るためには酸性雨からの保護（防水対策）が必須である。

藻類、苔類、地衣類などの生物の繁殖は石材の劣化を促進するだけでなく、汚れの原因となるため、それらは除去するべきである。ただし、植生生物を除去することによって表面層が親水性となり、劣化が進むことがあるので、除去後に表面層の強化、防水処置を行う必要がある。また、クリーニングによって石彫像が過度にきれいになりすぎてしまう場合があるので、状況に応じた対応が求められる。

また地震による倒壊やクラックの増大も大きな問題の一つで、近年の四川省大地震(2008. 5)の影響も観察されている。大地震に備えた構造的安定化も重要な課題である。

4　基本的な保存対策と具体的な保存処置

(1)構造的安定化

礎石を固定し水平を保つことにより倒壊の危険性を減じた。また以前の修復の際、セメントで接合され構造的に弱くなっている部分を一旦取り外し、セメントを除去したのち、エポキシ樹脂で再接合した。同様にセメントで補填されていた欠失部分は、新材あるいはエポキシ擬石で補充填した。

(2)表面層保護対策

脆弱化した表面層を強化し、同時に防水性を付与するために、撥水性シリコーン樹脂溶液を含浸した。基本的に、低粘度で石材中に浸透するアルキル・アルコキシ・シランを用いた。処理後しばらくは暗色化(濡れ色)を呈するが、屋外環境では数年で自然な色に戻る。この段階で、最表面の撥水力は低下するが、表面層全体の撥水力は長期間保持されるので、石材は高い防水性を維持する。

(3)生物の除去

今回対象とした石彫像では地衣類の繁殖が多くみられた。高温の水蒸気を当てて軟化させてから、メス等で除去した。除去後は、前述の表面層の強化、防水処置を特に念入りに行った。

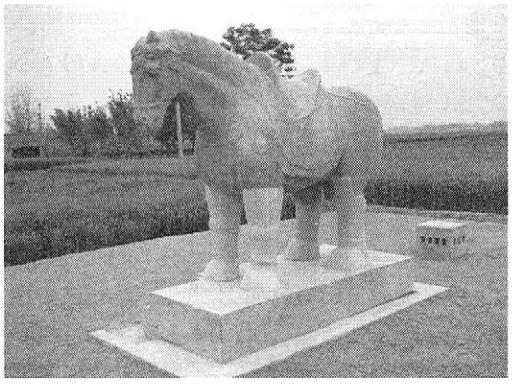
5　修復、復元

欠失部は、構造力学的に問題がなければそのままにしておくが、頭部など重要な装飾部以外は、新材や樹脂擬石で補充填することもある。ただし、修復部分が明確に解るように、修復記録を作成することは言うまでもないが、普通に見れば違和感はないものの、近くで見ると確実に判別できるようにすることが必要である。

ここで問題になったのが、不完全な形で発掘された石彫像である。下部（足部）が不完全で、そのままでは構造的に設置できない場合、「オリジナルを重視し、重要部分を付加する形での復原的修復は行わない」という文化財修復の原則に則っとるならば、石彫像を固定するための台を作成し、そこに接合して設置するしかない＜写真(左)＞。しかし、それでは陵墓全体の景観上、大きな違和感を生じさせる。そこで、この場合、外観上で違和感が生じないように欠失部（足部）を復元付加した＜写真(右)＞。写真は順陵での実例であるが、この時、復元した脚部を、石像のオリジナル部分に調和させるべく着色等を行うか否かの議論が交わされた。最終的には、前述の通り判別可能な状態で修復することで合意し実施した。

6　おわりに

文化財の保存、修復、復元を行うについては、明確な哲学がなければならない。その哲学を大原則としつつ、それぞれの状況に応じた方策を、適宜、臨機応変に取っていくことが必要とされる。この場合、自然科学的な調査、研究は必須であり、人文科学的また社会科学研調査、研究と緊密な連携を取りつつ、明確な実施計画を策定し作業を行わなくてはならない。そして、何よりも大切なことは、詳細かつ明確な作業記録を作成し保存しておくことである。



レバノン共和国所在壁画地下墓ブルジュ・アル・シャマリ T.01 の保存修復研究 (1)

○西山要一(奈良大学)、小林有紀子(奈良大学レバノン遺跡保存修復プロジェクト)、
倉賀野健・高橋健太郎・中谷可奈・大橋彩香(奈良大学)、ナーデル・シクラウィ(レバノン考古総局)、
ガビィ・マアマリ(レバノン・バラマンダ大学)、ハッサン・バダウィ(レバノン大学)

1　はじめに　私たちは、レバノン共和国南部ティール市郊外のローマ時代壁画地下墓ラマリ TJ04 の保存修復を 2004～2008 年度行ったのに続き、2009 年度には壁画地下墓ブルジュ・アル・シャマリ T.01 の保存修復研究の 1 年目を実施した。これらの研究では、保存修復と考古学とともに、壁画顔料の材質分析や壁画の保存環境調査を行い、その成果は本学会研究大会で発表した。今回は、ブルジュ・アル・シャマリ T.01 の墓室四壁に描かれた孔雀や壷、銘文、床面を装飾するモザイクに記された記年銘のほか、壁画の大気汚染影響、墓室の天井やそれを覆う土砂・草木が守ってきた壁画環境などの成果を発表する。

2　T.01 の遺構と遺物　ブルジュ・アル・シャマリ T.01 は、ラマリ TJ04 の南約1kmの丘陵南斜面に築かれ、調査時には北に民家の塀、西に建築中の民家が隣接し、地表は雑草が生い茂り瓦礫の捨て場となっていた。また、墓室は既に開口していて、入口の保護鉄扉は腐食損傷し、墓室床には掘込棺の蓋石や土器片が散乱、天井は崩落してコンクリート蓋を掛けるなどの状態であった。地下墓室は東西 4.85m、南北 3.25m、高さ 2.0mの横長プラン、天井は二段のドーム状、床の岩盤掘込みの6基の棺は長さ 1.6～1.95m、幅 0.45～0.5m、深さ 0.8～1.0mを計り、遺体は布などで包み埋葬したものと考えられる。墓室入口内側のモザイク床は幅 1.4m、奥行 1.1mが残存するが、さらに奥に広がり奥行きはおよそ 1.5mあったものと思われ、またモザイクの奥に供物台が設置されていたものと推測される。壁画は西壁(左壁)に孔雀、北壁(奥壁)に逆さ吊りの鳥・魚、東壁(右壁)に肉・パン・壷、南壁(入り口左右)に草花、墓室四隅と北壁中央に花綱、天井に鳥と星が緑・赤・黄・黒などの鮮やかな色彩で描かれている。墓室へ降りる階段は長さ4.1m、幅 1.1mの 11 段で上5段が岩盤掘り込み、下6段が切石を据え置き、墓室前には 1m四方の平坦部を設けている。階段東に隣接して別の地下墓があり、地表北東に隣接して2基の掘り込み棺がある。

今回の調査では 600 余点に上る壷・甕・ランプ・ガラス・人骨・壁画・モザイクを発見した。今後、土器片の形式分類を行い、壁画の壷との比較、モザイク銘文の示す 2 世紀末の土器形式の確定を試みたい。

3　銘文　(1) ΤΟΠΟC －　墓室の北東・北西・南西の隅と北壁中央の4か所に花綱とともにギリシャ文字“ΤΟΠΟC”が赤い顔料で記されている。場所(用地)を意味し、この地下空間が墓所であることを示す。しかし壁面に納体棚が存在する可能性もあり、探査を行い確認する予定である。ちなみに、南東の隅は花綱のみ描かれていること、4か所の“ΤΟΠΟC”の両側に鉄釘が打たれていることにも留意し、さらに“ΤΟΠΟC”の意味を考えたい。

(2) ΧΑΙΡΕ ΑΥCΙC ΠΑΝΤΕC ΘΝΗΤΟ －　墓室入り口右の壁にギリシャ文字で“ΧΑΙΡΕ ΑΥCΙC ΠΑΝΤΕC ΘΝΗΤΟ”が赤い顔料で書かれている。“さらば リューシス 誰だって死ぬのだから(すべてのものは死ぬ定めにある)”との、死者に対する慰めの言葉であろう。

(3) ΘΑ (PCΙ ΟΕΔ) ΙC ΑΘΑΝΑΤΟC ΒΚΤ －　墓室に入ったところのモザイク床に、白い石を背景に黒い石を使ってギリシャ文字で記されている。“ΘΑ(PCΙ ΟΕΔ)ΙC ΑΘΑΝΑΤΟC”は“元気だせよ 誰だって死ぬのだから”を意味する。そして“ΒΚΤ”はティール暦の 322 年、すなわち西暦の 196/197 年にあたり、T. 01の築造年を示す。

4　T.01 の環境　T.01 の墓室内外で温度、湿度、表面温度、照度、紫外線強度、二酸化炭素濃度の測定を行なった。10 月 1 日 7～18 時まで 1 時間ごとに行った温度の計測値について考察する。墓室外部の温度変化は 8℃であるのに対し、墓室内の温度変化は3～4℃にとどまっている。壁画表面の温度変化は2℃である。この日、7時から 13 時までは墓室入口扉を開け放して内部で5名が作業をしていたために

墓室内温度が 4℃の変化が生じたにもかかわらず壁面温度は2℃におさまっているのは注目に値する。墓室に人が入らず扉が閉じていれば、墓室内温度の日変化はより小さく緩やかな変化を示すであろうと推測され、温度変化が壁画に与えるダメージも極めて小さいものと思われる。

墓室の表面温度の測定ではさらに注目すべき結果が得られた。北壁の露出した岩盤の表面温度の変化は1℃で壁画面変化2℃より小さい。一方、コンクリート天井は 13 時には墓室内より5℃、壁画面よりも6～7℃高くなり夜までこの状態が保たれる。すなわち、コンクリート天井は日射による熱を蓄熱して天井内部に伝え、墓室温度の上昇をもたらしている。また、逆に夜遅くから早朝には外気温に対応して墓室内より5℃低くなっているものと推測され、墓室を冷し墓室温度の下降をもたらしていると思われる。コンクリート天井がもたらす大幅な墓室温度の上昇・下降は、壁画を損傷する要因となっているであろう。

自然光照射による照度と紫外線は墓室で 11～12 時に極大になる。南中の太陽が墓室を照射する時刻である。光と紫外線による壁画の褪色・劣化は扉を閉じることで防止できる。外部の二酸化炭素濃度は1日を通じて 0.04%であるが、墓室内では7時に5人が作業を開始すると同時に急上昇し 11～12 時には 0.13%の極大に達し、作業が終了して1時間後の 14 時には通常大気中と同じ 0.04%にもどる。二酸化炭素は壁画を褪色劣化させると言われ、調査中といえども注意が必要である。また、T.01 修復完成後の公開時における入室時間と人数の制限を考えるとき、今回の測定データが生かされることになろう。

5 ラマリ TJ04、ブルジュ・アル・シャマリ T.01 の墓室環境の比較、そして高松塚・キトラ古墳の石室環境

ラマリ TJ04 で 2005 年9月1日に測定した地下墓の墓室外気(外気)・墓室内(墓室)・壁画表面(壁面)・天井表面(天井)の温度の日較差(早朝～夕刻)を、ブルジュ・アル・シャマリ T.01 の日較差と比較した(表)。

ラマリ TJ04 の墓室内温度および壁面温度は日較差わずか2℃内に収まり、外気の日較差の影響は小さい。しかし、ブルジュ・アル・シャマリ T.01 では墓室内温度の日較差は4℃と大きく、壁面温度は日較差2℃内に収まる。日中の外気の温度上昇は天井コンクリートを熱し蓄熱したコンクリート天井が墓室内の温度上昇をもたらすことは明らかで、この温度変化は壁画顔料の褪色をもたらす可能性がある。

さらに、2007 年に初めて T.01 を訪れた際に目にし、写真に記録した色鮮やかな孔雀などの壁画とは違って、今日では白い霞がかかったように変化している。詳細な観察の結果、壁画表面を白い粉が覆っていることがわかり、この粉末を奈良大学で蛍光X線分析およびX線回折分析を行った結果、硫酸カルシウム(石膏)であることが判明した。硫酸カルシウムの結晶が生じるメカニズムは、酸性雨が岩盤中のカルシウムを溶かして壁画表面に運び結晶化したものか、または、大気中を漂う乾性大気汚染が墓室内に流入してカルシウムの湿った壁面に捉えられて結晶化したかのいずれかで、温度変化に伴う湿度変化がもたらす影響であろう。幸いにも、表面の硫酸カルシウムの粉末を払い落せば壁画を原状に復すことができるが、注意すべき課題である。

地下墓を覆う厚い岩盤や土壌が外気の日々の大きな環境変化を緩和し、地下墓内の環境の安定に、ひいては地下墓内の壁画の保存に寄与することは、レバノン共和国の2基の壁画地下墓の観測から実証できる。わが国の高松塚古墳やキトラ古墳の石室温度の上昇を地球温暖化の影響とする説が言われるが、両古墳上の草木の伐採と調査による墳丘土の除去によって断熱層が除去され、さらには調査保存用前室の温度調整装置の影響が、石室の温度上昇とカビの生育、壁画の劣化を齎したものと思われる。

地下墓名	温度の日較差(℃)				備考
	外気	墓室	壁面	天井	
ラマリ TJ04	13	2	2	2	墓室容積は 105m^3　天井は最小厚さ 75cm の石灰岩岩盤 2005 年 9 月 1 日 6:00～17:00 測定 午前中5名作業
ブルジュ・アル・シャマリ T.01	10	4	2	8	墓室容積は32m^3　天井は厚さ約20cmのコンクリート板 2009 年 10 月 1 日 7:00～18:00 測定 午前中5名作業

高松塚古墳壁画の生物劣化原因調査結果概要について

○木川りか*，佐野千絵*，杉山純多*2，高鳥浩介*3，石崎武志*

（＊：東京文化財研究所　＊2：㈱テクノスルガ・ラボ 千葉分室
＊3：NPO法人カビ相談センター）

１．はじめに

平成20～21年度に文化庁による高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会が組織され、生物劣化については以下のような検討項目について調査が実施された。（１）過去の記録の精査による壁画の生物劣化の経過と要因についての総合的調査（２）最近の壁画の微生物汚染の原因となった微生物の系統分類学的位置の詳細な調査（３）微生物の生理的性質などを含む生物学的特徴（Bio-profile）の調査。特に、最後の項目では、「過去に石室内や取合部で使用された樹脂などとカビの生育の関係」、「殺菌処置に使用された薬剤の効果と微生物の栄養源として使用された可能性」、「劣化の要因となる有機酸の産生」、「温度条件による生理的変化」、「暗色系代謝物産生の検討」、「殺菌剤等への順化」などの項目に対して検討を行ってきた。本報告では、一連の調査結果について概要を報告する。

２．調査結果の概要

2-1.　使用された樹脂とカビなどの生育について

高松塚古墳では、1972年の発掘以後、２度のカビの大発生がおきている。ひとつは、昭和50年代に実施された剥落止めの作業の時期、もうひとつは、平成13年（2001年）２月から３月にかけて取合部の崩落止め工事以降となる。剥落止めは、壁画の現地保存を行う上で、必須の処置であったが、作業に伴い石室内にカビが発生した。また、平成13年の取合部の崩落止め工事も必要な改修ではあったものの、カビ対策が不十分でこの工事のあとに樹脂などで強化した取合部版築、石材、擬土面でカビが大発生し、その後、石室内にもカビが及んだ。

昭和50年代の剥落止めの作業や、平成13年の崩落止め工事に使用された樹脂（パラロイドB72、アラルダイトなど）について、試験を行ったところ、このような樹脂に、高松塚古墳から主要に分離されたカビの分離株のいくつかが生育することがわかった。一般的に日本画などの剥落止めに使用される膠、ふのりなどと比較すれば、カビの生育度合いは低かったものの、同様の高湿度の現場で使用する材料の選定は非常に難しい課題で、今後の十分な検討を要する。

2-2.　人の出入りとの関連について

平成14年（2002年）の点検時に、青龍、東壁女子群像の近くで粘性のある黒い汚れ（シミ）が現れているのが発見された。このような汚損を避けるためには、頻繁に点検を行い、変化があった時点ですぐに対応する方法と、逆にあまり人が出入りしないようにする方法があったが、除去できるかどうかわからない黒い汚れなどによる劣化の進行を放置できないことから、点検が多く実施されることとなった。しかし、人の出入りや薬剤の使用量、頻度も増えた結果、別の影響が出たことも事実である。

人の出入りに伴う、石室内温度上昇や呼気などに含まれる有機物のもちこみなどは微生物の生育のしやすさに影響する可能性があり、点検に伴う光照射も一部のカビの色素産生や胞子形成度などに影響を及ぼすことがわかった。

2-3.　薬剤との関連について

高松塚古墳の絵画面で使用できる薬剤には、絵画の色材や下地の漆喰などへ与える影響のうえで大きな制約があるが、昭和50年代にパラホルムアルデヒド燻蒸が高松塚古墳石室で実施され、当時大発生した *Doratomyces* 属のカビの対策として一定の効果をあげたと考えられる。しかし、一方ではパラホルムアルデヒド燻蒸を行っても、分厚いコロニーがある場合、効果が十分ではなく殺菌と物理的除去を併用することが必要と考えられた。

ラスコー洞窟では、2001年にカビが洞窟内に発生してのちは、４級アンモニウム塩系の殺菌剤を不織布に浸して、壁面（絵画のないところ）に１週間ごとにはりかえたりした処置の例が

報告されているが、高松塚古墳壁画の絵画の状態では必ずしもこのような方法が同様に適用可能とはいえなかった。

日本の装飾古墳では、過去にホルマリンやエタノールなどの使用例があり、絵画への影響が少ないという点、毒性が比較的低いという点で、カビの殺菌と物理的除去の用途にはアルコール系のものが候補となった。しかし、エタノールなどのアルコール系殺菌剤はすぐれた殺菌効力をもち、耐性菌がでにくい一方で、うすまった際には、微生物の炭素源（栄養源）として使用される懸念も指摘され、これを実験的に検討した結果、エタノールが殺菌濃度からおよそ70倍～100倍程度にうすまり、1%程度の低濃度になると、高松塚古墳から分離されたカビ、細菌や酵母などの炭素源になりうることが示された。その時々の条件に適合した微生物が優勢となって、移り変わるなかで、どのように微生物全般を制御すべきであったかという深刻な問題があり、有機系の薬剤である以上、それらが分解されたときには、微生物の栄養源になる可能性は常に存在する。有機系薬剤を土中環境で使用すべきかどうか、ということは今後の大きな課題であり、ラスコー洞窟のカビ対策においても議論が分かれている。

キトラ古墳では、平成20年（2008年）度に、目にみえる絵画部分の取り外しが終了したことを受け、現在は、間欠的な紫外線照射による殺菌方法に切り替えられている。この方法は、有機物を残さない方法で、現在ほぼ有効に作用している。しかし、この方法はあくまでも「絵画がない」という前提のもとで使用され得る方法である。

2-4. 微生物の代謝物による影響

カビなどの微生物は、色素によるシミや汚れをつけるほかに、代謝物を放出することによる化学的な劣化や、菌糸などがくいこむことによっての物理的な劣化などを引き起こす。今回の調査のなかで、高松塚古墳から分離されたカビ、酵母、細菌のなかに、酢酸などの有機酸を産生するものが見出された。このような有機酸は、絵画下地の漆喰を溶かしたり、場合によっては顔料に影響を及ぼしたりする可能性もあることが示唆された。

2-5. ダニ、虫、植物の根などの影響

土中からカビなどを食べに集まってくるダニなどの小動物は、壁面を歩き回ることによって、カビなどの微生物を散布し、さらにそれら小動物の排泄物や死体が栄養源となって、さらなる微生物の生育を促す。一方で植物の根は、その根毛部分で、石材のカルシウムなどの陽イオンを移動させて溶出させることが知られている。このような小動物や、植物の根なども石材や漆喰などの劣化に関与していたと推測される。

2-6. 微生物の詳細な系統分類学的調査の結果明らかになった知見

平成16年（2004年）以降、微生物分離株の種レベルの同定（系統分類学的位置の決定）結果に基づき、文献などによってそれらの微生物種の由来を調べた。その結果、ほとんどの微生物が「土壌由来」、「植物由来」、「空気由来」、「昆虫由来」と推定されるものであった。石室、取合部などから分離された微生物は、石室周囲の土、墳丘などから分離された微生物種と共通するものも多く、おそらく周囲の土壌から、雨水やダニ、虫類、植物の根、人の出入りなどを介して、侵入したものと推測された。

3．まとめと今後の課題

劣化原因の検討を通じて、高湿度環境で壁画を保存することに内在する問題に加え、保存を目的に手を加えた結果に起因する様々な問題点も明らかにされた。高湿度環境の漆喰壁画は、生物被害については極めてハイリスクにあり、緊急事態に備え、想定される事態と対応の選択肢（対策）を予め用意しておき、有事の際に、速やかな意思決定を行えるようにしておくことが今後の同様な事例のために非常に重要であると考えられる。以上のことを大きな反省材料とし、今後同様の高湿度環境にある壁画保存のあり方を、多くの分野の専門家の協力を仰ぎながら、徹底的に検討していかねばならないと考える。

〈参考〉 高松塚古墳壁画劣化原因調査報告書、H22年3月24日、高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会

蛍光X線分析法による初期弥生土器の胎土分析
—弥生文化を伝えた集団の出自—

○ 杉山浩平（東京大学 農学部），池谷信之（沼津市文化財センター），谷口 肇（神奈川県教育委員会）

はじめに

本研究は、蛍光X線分析法による関東地方南西部から東海地方東部出土の弥生時代前期の土器の胎土分析の研究である。

関東地方への弥生文化の伝播には、東海地方西部を出自とする遠賀川系土器や条痕文土器の文化圏からの影響が強いことはよく知られている。関東地方南西部から出土する弥生時代前期の土器には、遠賀川系土器・条痕文系土器・縄文施文土器などがある。このなかで、主体的に出土する土器は条痕文系土器と縄文施文土器である。特に条痕文系土器は、西三河地方から関東地方南部まで広く分布している土器である。そして、調整技法には、貝殻を用いる貝殻条痕、竹管を用いる半裁竹管条痕、植物の茎を束ねて用いる茎束条痕があり、それぞれの条痕の施文率には地域差がある。

本研究では、関東地方ならびに伊豆諸島の弥生時代の遺跡（東京都三宅村島下遺跡、神奈川県秦野市平沢同明遺跡など）出土の条痕文系土器を対象に胎土分析を行い、土器の産地を推定する（図1）。そして、弥生文化を伝えた集団の出自およびそのルートについて検討を行う。

分析方法

既に筆者らは蛍光X線分析法によって、出土土器をフォッサマグナ（西縁：以下「フォッサマグナ」と略称する）の東西に区分できることを示したことがある（池谷・増島 2009）。以下ではその方法について略述しておく。

フォッサマグナ東西の地域から、窯址出土の須恵器・灰釉陶器・瓦、土師器甕など、出土地が製作地から大きく動いていないと考えられる資料（西側738点・東側763点）を収集し、蛍光X線分析法によってAl(ｱﾙﾐﾆｳﾑ)・Si(ｹｲ素)・P(燐)・S(硫黄)・Cl(塩素)・K(ｶﾘｳﾑ)・Ca(ｶﾙｼｳﾑ)・Ti(ﾁﾀﾝ)・Mn(ﾏﾝｶﾞﾝ)・Fe(鉄)・Cu(銅)・Zn(亜鉛)・As(ヒ素)・Br(臭素)・Rb(ﾙﾋﾞｼﾞｳﾑ)・Sr(ｽﾄﾛﾝﾁｳﾑ)・Y(ｲｯﾄﾘｳﾑ)・Zr(ｼﾞﾙｺﾆｳﾑ)の18元素の強度を得た。フォッサマグナ東西の判別には、Si・Fe・Rb・Sr・Zrの５つの元素が有効であったが、ここではSi/FeとZrを指標とした判別図を作成して、フォッサマグナの東西を判断した。なお用いる数値は、測定されたすべての元素の合計値で、個々の元素を割り求めた強度比を使用している。

分析装置は、沼津市文化財センター所有のエネルギー分散型蛍光X線分析装置、島津EDX-900HSを使用し、土器の裏面ないし裏面をルーターで研磨して真空下で測定した。管電流は自動設定、管電圧は15KV（軽元素側）と50KV（重元素側）、測定時間は軽元素側・重元素側とも200秒ずつとした。

分析資料

三宅村の島下遺跡出土土器（すべて弥生時代前期）から、条痕文（貝殻）土器５点、条痕文（茎束）土器９点、縄文施文の土器３点の計17点を選び、上記基準資料と同一の条件下で測定した。なお比較資料として、東海西部における縄文時代晩期～弥生時代前期の代表的な遺跡である愛知県豊川市麻生田大橋遺跡出土の凸帯文土器・条痕文土器21点の分析も行った。

分析結果

基準資料に２遺跡の測定結果を重ねてフォッサマグナ東西の判別図を作成した（図2・図3）。島下遺跡出土土器は４点がフォッサマグナ西域に入り、残りの13点がフォッサマグナ東域となった。また麻生田大橋遺跡出土土器は19点がフォッサマグナ西域に入り、２点がフォッサマグナ東域に入った。今回の分析は島下遺跡の発掘調査報告書作成に向けた土器分析の方向性を探るために行ったため、点数も限られているうえに、フォッサマグナ西域の４点も境界域に近い

ところにプロットされている。報告書ではさらに点数を増やし、一部については鉱物分析の結果も加えて、より正確な産地推定を行いたい。

引用文献

池谷信之・増島淳 2009「蛍光X線分析法による縄文土器のフォッサマグナ東西の判別－東海地方および南関東地方の事例から－」『地域と学史の考古学』杉山博久先生古希記念論文集刊行 六一書房 41～64 頁

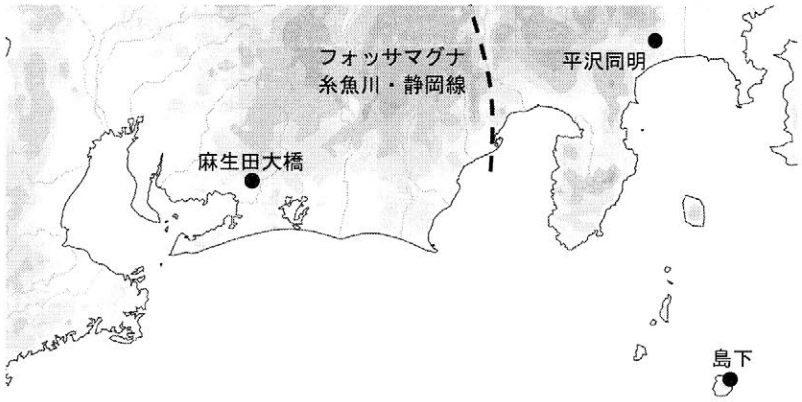


図 1 分析対象遺跡

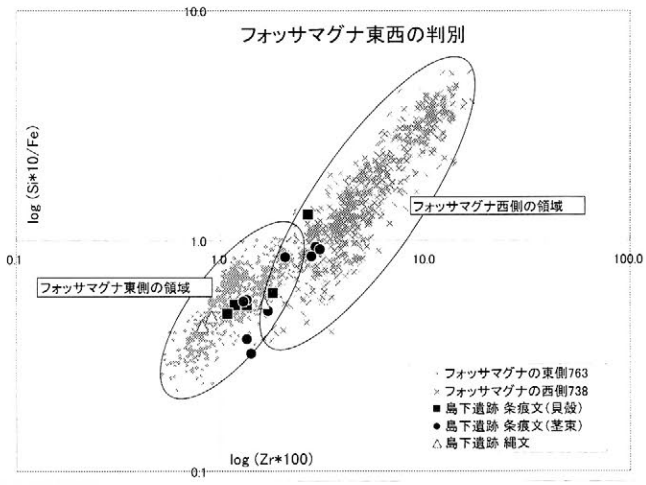


図 2 島下遺跡の分析結果

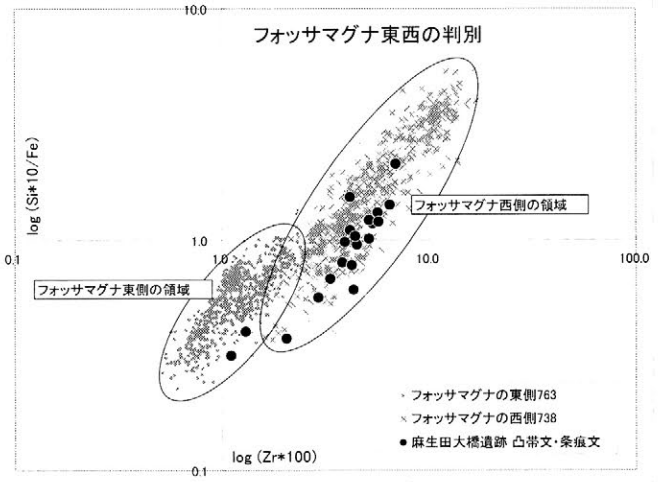


図 3 麻生田大橋遺跡の分析結果

蛍光 X 線分析による
エジプト出土イスラーム陶器の産地特性化

○ 権代紘志・加藤慎啓・中井 泉(東理大・理)
真道洋子(イスラーム考古学研究所)

1. 背景と目的

エジプト・シナイ半島南西部に位置するラーヤは、イスラーム時代に紅海沿岸の港市として繁栄した。ラーヤ遺跡では、当時の中東地域で製作された多種多様なイスラーム陶器を数多く出土し、その装飾様式や製造地の考察に重要な情報を提供する遺跡といえる。これまで、装飾の美しいラスター彩陶器や独特な色彩を持つ白地多彩釉陶器については、集中的に研究が行われてきた。一方で、装飾の乏しい単色白色陶器に関しては十分な化学的研究が行われていない。そこで、本研究では、様々なイスラーム陶器の下地として用いられる白色釉薬に着目した。この発表の目的は、中東地域のイスラーム陶器において、産地判別に有効な化学的指標を見つけだし、当時の交易や製造技術の解明の手掛かりとすることである。

2. 分析試料と実験概要

分析対象としたイスラーム陶器が出土した遺跡はラーヤ遺跡 (調査隊隊長:川床睦夫イスラーム考古学研究所所長)[1] とフスタート遺跡 (エジプト考古最高会議所蔵) の 2 箇所である。ラーヤ遺跡出土の分析試料は、初期アッバース朝ラスター彩陶器(イラク製・9^{th}-10^{th})、白地藍彩陶器(イラク製・9^{th}-10^{th})、白地多彩釉陶器(エジプト製・10^{th}-12^{th})、単色白色釉陶器(産地未詳)などの計 547 点である。初期アッバース朝ラスター彩陶器は、さらに彩色様式の違いから多色と単色に分類される。白地多彩釉陶器は彩色様式の違いから、白地青緑暗紫彩陶器、白地青緑彩陶器、白地暗紫彩陶器の 3 つに細分化して扱った。同様に、単色白色釉陶器は、単色透明釉陶器と単色白濁釉陶器の 2 つに分類した。装飾様式の顕著なタイプは、その特徴から考古学的手法に基づいた産地推定が可能であるが、装飾様式の乏しいタイプは産地推定が困難である。一方で、フスタート遺跡出土の分析試料は、ファーティマ朝ラスター彩陶器(エジプト製・11^{th}-12^{th})、白地多彩釉陶器(エジプト製)、白地藍黒藍彩陶器(シリア製)などの計 124 点である[2]。ファーティマ朝ラスター彩陶器は、彩色様式の違いから単色と二色に分類した。可搬型蛍光 X 線分析装置をエジプトの遺跡現場に持ち込み、オンサイト非破壊分析を行った。この可搬型装置はメーカーと共同開発したもので、Na,Mg などの軽元素の定量分析も可能である。

3. 結果と考察

(1) 白色釉薬の産地特性化

測定した白色釉薬の XRF スペクトルから TiO_2/SiO_2 *vs.* Fe_2O_3/SiO_2 プロットを作成した。一般に、Ti と Fe はシリカ源の不純物であり、その含有量の違いは産地の違いを反映していると考えられる。

ラーヤ遺跡出土の装飾様式の顕著なイスラーム陶器のプロットを図 1 に示す。同様に、装飾様式の乏しい単色白色釉陶器に関しては図 2 に示す。図 1 から、イラク製である初期アッバース朝ラスター彩陶器は Ti が少なく、エジプト製の白地多彩釉陶器は Ti が多い傾向があることが判明した。

一方、図 2 では、今まで産地推定が困難であった単色白色釉陶器に関しても、エジプト製とイラク製とに二分できることが示された。単色透明釉陶器と単色白濁釉陶器のいずれにもイラク製とエジプト製が存在した。

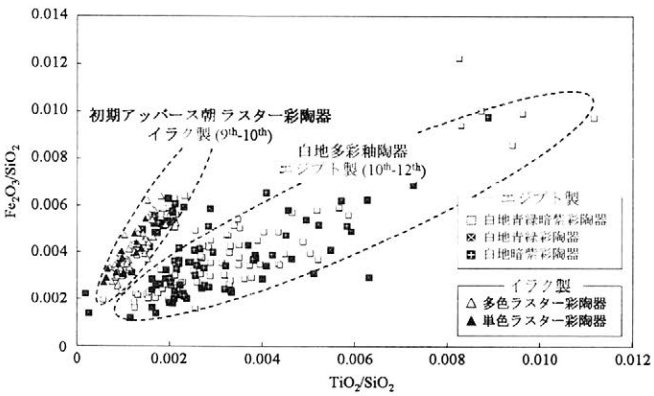


図 1 ラーヤ遺跡出土の装飾様式の明らかなイスラーム陶器の TiO_2/SiO_2 *vs.* Fe_2O_3/SiO_2 プロット

以上から、ラーヤ遺跡出土のイスラーム陶器において、その白色釉薬の Ti と Fe の含有量は、産地判別に有効な指標となった。

フスタート遺跡出土のイスラーム陶器に関しても、同様に Ti が多いタイプと Ti の少ないタイプに大きく二分でき、違いが見られた。今後は、考古学的知見も踏まえ、その意味を総合的に究明する必要がある。

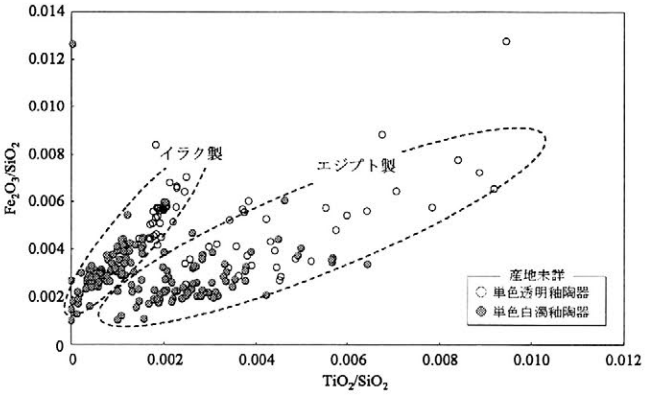


図 2　ラーヤ遺跡出土の装飾様式の不明なイスラーム陶器の TiO_2/SiO_2 *vs.* Fe_2O_3/SiO_2 プロット

(2) 白色釉薬の白色技術

白色釉薬には、融剤として機能する Pb の含有量が高いタイプも多く存在している。Pb は石英の融点を下げるため石英の微粒子が十分に溶け、透明感が増す。また、Pb が多いと釉薬の光沢感が増す傾向も見られる。一方で、Sn は釉薬の白濁剤として頻繁に使用されている。SnO_2 *vs.* PbO プロットは白色釉薬の白色の強さや質感を反映していると解釈でき、当時の白色釉薬の作成技術を究明できる。ラーヤ遺跡出土のイスラーム陶器の SnO_2 *vs.* PbO プロットを図 3 に示す。

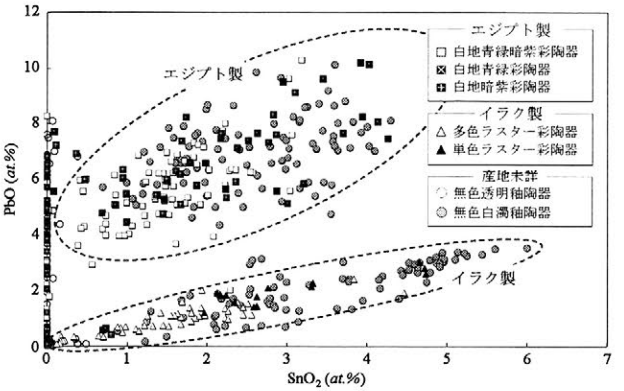


図 3　ラーヤ遺跡出土のイスラーム陶器の SnO_2 *vs.* PbO プロット

イラク製は Pb が少なく、エジプト製は Pb が多い傾向があり、Sn は両者とも概ね同程度の含有量であった。本プロットもイラク製とエジプト製の違いや時代的な違いを反映していることが推察される。イラク製のタイプに関しては、SnO_2 と PbO に高い正の相関が見られた。このことは、釉薬の原料として使用する SnO_2 と PbO をイラクでは決まった配合比率で加えていたことを示唆する。なぜ、SnO_2 と PbO を決まった比率で加える必要があったのかは不明であるが、イラク製に独特の特徴であるといえる。

SnO_2 が全く含まれないタイプの外観は透明釉である。エジプト製のタイプには SnO_2 は全く含まれないが、PbO は含まれるタイプが多数存在した。これは PbO を単独で添加していることを意味する。ラーヤ遺跡出土のイスラーム陶器に関しては、PbO を単独で使用するタイプの大部分がエジプト製であった。イラク製で意図的に PbO のみを添加したと見られるタイプは存在しなかった。

4. 結論と今後の課題

白色釉薬のシリカ源の不純物に着目した TiO_2/SiO_2 *vs.* Fe_2O_3/SiO_2 プロットは、ラーヤ遺跡とフスタート遺跡から出土した多様なイスラーム陶器に対し、大きく 2 グループに分けた。特に、ラーヤ遺跡出土遺物では、エジプト製とイラク製に対応していることが判明した。Ti と Fe は中東におけるイスラーム陶器の産地判別に非常に有効な指標であるといえる。白色釉薬の白色の色味や質感に着目した SnO_2 *vs.* PbO プロットは、ラーヤ遺跡出土のイスラーム陶器に関しては、イラク製とエジプト製で Pb の含有量に大きな差が見られ、地域差を反映していると考えられる。また、ラスター彩陶器のイラク製のタイプでは、SnO_2 と PbO の含有量に高い相関性が見られた。この理由については今後も検討する必要がある。

1. M. Kawatoko & Y. Shindo (eds), " Artifacts of the Islamic Period Excavated in Raya/al-Tur Area, South Sinai, Egypt Ceramics / Glass / Painted Plaster " (2009).
2. M. Kawatoko & Y. Shindo (eds), " Artifacts of the Islamic Period Excavated in al-Fustat, Egypt ", in press.

重鉱物分析によるカマン地域にみられる前期青銅器時代の土器の原料産地の解明

○黄　嵩凱(東京理科大学)、横山　一己（国立科学博物館）、中井　泉(東京理科大学)

【序】土器の原材料である粘土には様々な鉱物が含まれている。これらの鉱物は粘土の産地に関する情報を含んでいるので、鉱物種、特に地球化学的挙動が特徴的な重元素を多く含む重鉱物を同定することによって土器の産地推定の手がかりが得られる。なお、重鉱物は河砂の産地を推定するために極めて重要な指標として古くから用いられている。

本研究は、トルコ共和国にあるカマン・カレホユック遺跡から出土した前期青銅器時代の土器(2300-1930B.C.)と、同遺跡の周辺（半径 50km 圏内）に分布している前期青銅器時代の 6 つの遺跡の土器の原料産地の解明を目的としている。2008 年の調査により、カマンの遺跡近郊（25km 圏内）に分布している重鉱物の種類が多く(十一種類以上)、土器の産地推定に有効な指標であることが分かった[1]。また、同遺跡から出土した前期青銅器時代の土器の重鉱物組成と角閃石（全ての地域においてもっとも多く産出する重鉱物）の化学分析を行ったところ、五つのグループに分けられ、研究対象とした土器の原料産地は五つあることが明らかになった。ここで、五つのグループのうち三つのグループの産地は 25km 圏内、残り二つのグループは 25km 圏外に分布していることが分かった。このような土器産地の分布モデルから、カマン地域の前期青銅器時代では小規模で地域的な土器流通ネットワークがカマン地域内に形成されていたと推定される。

そこで、今年の調査の目的は、地質調査の範囲をさらに拡大し（カマン・カレホユック遺跡を中心に半径 50km 以内、図 1）、産地が 25km 圏外に分布している土器グループの産地およびカマンの遺跡周辺の異なる遺跡にみられる前期青銅器時代の土器の産地を推定し、カマン地域内の土器の流通についてさらに考察を加えた。

【試料と実験方法】今回分析した土器試料は、同遺跡の IVa, IVb 層から出土した前期青銅器時代の土器 22 点と一般調査で表採したカマン地域内の六つの前期青銅器時代の土器 48 点(一つの遺跡から 8 点)である。また、堆積物に関してはカマン・カレホユック遺跡を中心とした 50km 圏内において、それぞれ異なる地質を持つ 50 ヶ所から試料を採集した(図 1)。実験方法としては、約 20g-40g の土器を粉砕し、水で微粒子の粘土や泥を洗った。残された鉱物を 255 μ m の篩を通して、粒度を揃えた後、ヨウ化メチレン溶液で重鉱物（比重 2.82）と軽鉱物に選別した。選別された重鉱物は樹脂でガラス板上に包埋し、研磨して薄片にした後、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、反射電子（BSE）像を観察しながら鉱物の化学組成をエネルギー分散型 X 線分析装置（EDS）で調べ、重鉱物の同定を行った。一つの土器につき約 200 粒の重鉱物を同定し、モードを出した。その後、すべての試料に対して、最も出現頻度が高い鉱物である角閃石と輝石を波長分散型 X 線分析装置（WDS）で定量した。

【結果】調査した地域の堆積物に含まれている重鉱物は 20 種類よりも多く、そのうち、輝石、角閃石、くさび石、緑簾石、石榴石、Ca-石榴石、スピネルとジルコンがもっとも多く産出する重鉱物である。これらの重鉱物種は岩体に特徴あり、供給源を調べたところ、主に六つの岩体（花崗岩、変成岩、オフィオライト、斑れい岩、始新世堆積岩およびスカルン）から供給されることがわかった。同遺跡周辺の花崗岩地域には主に角閃石とくさび石、東側（KIRSEHIR 周辺）の変成岩地域には緑簾石、北側（KESKIN 周辺）のスカルン鉱物には Ca-石榴石、西側の苦鉄質岩、オフィオライトとクズルウルマク河の河床には輝石とスピネル、南側の始新世堆積岩にはジルコン、斑れい岩には輝石が多く産出し、これらの結果から特定の重鉱物種による調査範囲内の地域的な特徴づけをすることができた(図 2)

カマン・カレホユック遺跡から出土した土器の重鉱物組成を調べた結果、土器の半分以上（n=12）は角閃石とくさび石を多く含むことから、遺跡の近場の粘土（花崗岩地域）を原料に製作され、三分の一(n=8)は緑簾石を多く含むことから、東側へ 25km 離れた場所（変成岩地域）にある遺跡から搬入された事が推定された。

また、カマン地域近郊の 6 遺跡の土器の重鉱物組成を調べたところ、当時の土器の原料は、それぞれ各遺跡の近場で採取したことが分かり、遺跡同士の交流は確認できなかったが、カマンから出土した緑簾石を多く含む土器については、東側の変成岩地域の遺跡との交流が推定された。

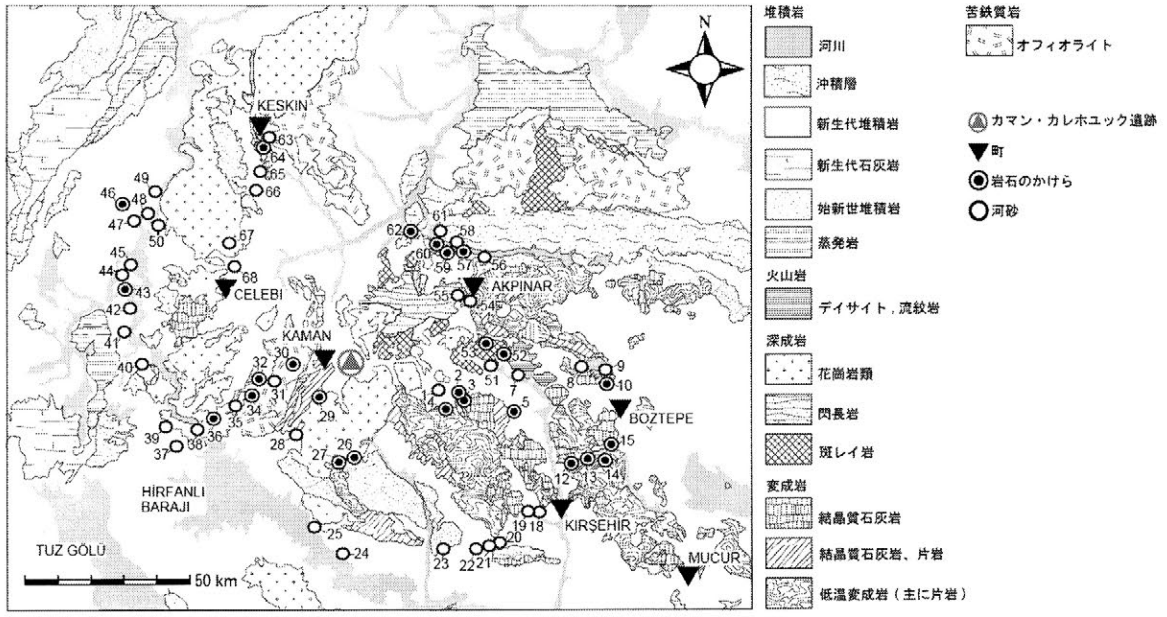


図１：調査した範囲の地質図と堆積物の採取地

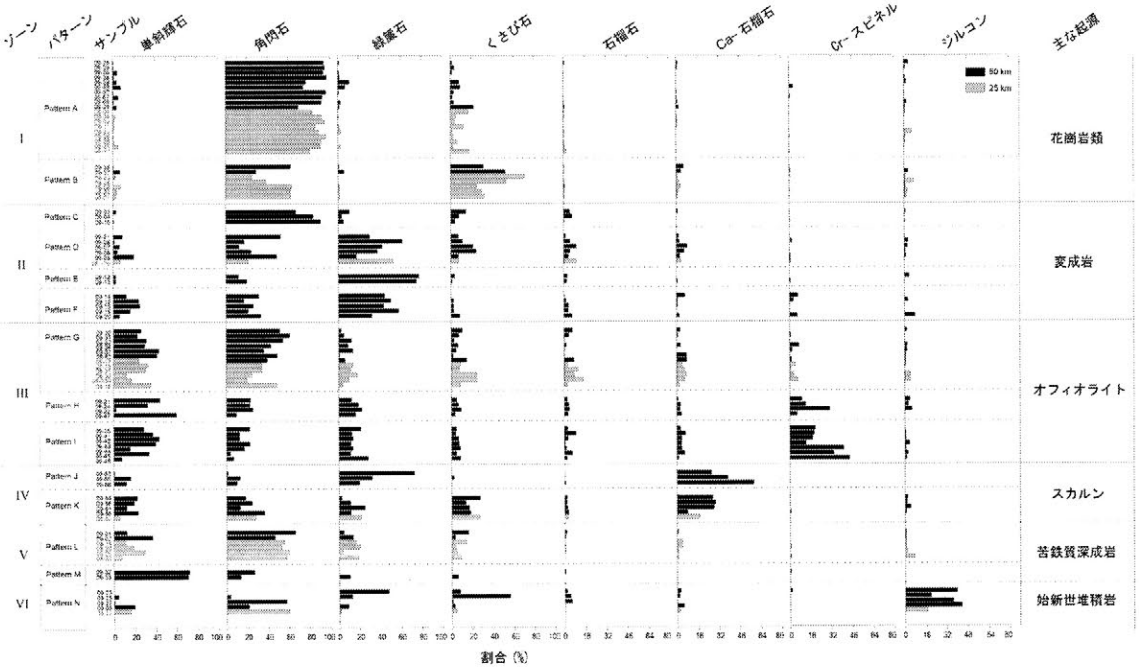


図２：堆積物の重鉱物モードと主な起源

1. Bong et. al., Journal of Archaeological Science (2010), in press.

現生の漆の産地識別

○佐藤正教(日大院総合基,東大総合研究博物館),吉田邦夫(東大総合研究博物館),
中井俊一(東大地震研),宮腰哲雄(明大理工)

【緒言】

漆は赤や黒の鮮やかな色彩を示すことが知られ、縄文時代の早い時期から紐、糸状装飾品や土器、漆器などに用いられてきた。縄文遺跡から多くの漆製品やウルシが出土しているが、これらに使われている漆が列島産のものなのか、それとも大陸からの移入品なのかは明らかになっていない。植物学的にはウルシの原産地は中国南方などとされ、日本には初め自生していなかったとされている。しかし、日本最古の漆は北海道垣ノ島B遺跡の漆塗りの装身具が約9000年前とされ、一方で中国最古の漆は浙江省の漆塗りの弓が約8000年前であり、日本列島の漆のほうが約1000年古い。また、最近、木材解剖学的研究の進展により、これまでヤマウルシ、ヌルデと同定されてきたものが実際はウルシであることが明らかになり、縄文時代だけで三百数十例のウルシが出土していたことが判明した(Noshiro et al. 2007)。このことは、日本列島の漆製品が列島産のウルシの樹液によって製造されたことを示唆するが、蓋然性を示しているに過ぎない。

近年、熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析計(Py-GC/MS)を用いれば、漆を主成分により日本・中国漆, ベトナム・台湾漆, タイ・ミャンマー漆の3系統に分類することが可能になった(本多ほか2008)。しかし、この方法では日本産漆と中国産漆を識別することはできない。そこでRbとSrという元素に着目した。Rb, Srは、ともに植物にとって必須元素ではないが、イオン半径が近いことからRbはK, SrはCaに似た挙動を示すため、植物にも生育土壌のRb, Srが吸収されると考えられる。Srには4つの安定同位体、^{84}Sr(0.56%), ^{86}Sr(9.86%), ^{87}Sr(7.00%), ^{88}Sr(82.58%)が存在する。このうち^{87}Srは^{87}Rb(半減期475億年)のβ⁻壊変によって生成し、火成岩などにおいて^{87}Srの存在比率は時間と共に僅かずつ増加する。そのため、土壌の母岩が形成された地質年代が異なることなどにより^{87}Sr/^{86}Srが変動し、農作物の産地識別などに利用できることが知られている。

本研究では、^{87}Sr/^{86}Srにより、日本産漆と中国産漆を識別できることを初めて明らかにした。また、そのSrが、どのような土壌構成成分に由来しているかについて検討を行った。

【実験】

まず、日本産漆と中国産漆が^{87}Sr/^{86}Srにより産地識別が可能であるかを検討した。2003-2007年に採取した日本産漆液試料(5地点7試料)、中国産漆液試料(4地点4試料)をガラス板上に塗布し、一定条件で酸化重合により硬化させ、漆塗膜を作製した。数十mgの漆塗膜を切り取り、HNO_3を用いて加熱分解し、樹脂(AG-50W-X8 100-200mesh)を用いてSrのみを単離した。東京大学地震研究所に設置されている多重検出型誘導結合プラズマ質量分析計(MC-ICP-MS)を用いて^{87}Sr/^{86}Srを測定した。

次に、茨城県大子町のウルシから採取した漆と栽培土壌の^{87}Sr/^{86}Srを測定し、漆に含まれるSrの由来を検討した。土壌は溶解法により3つの成分に分け^{87}Sr/^{86}Srを測定した。1M CH_3COONH_4で抽出したもの(交換性成分)、HNO_3だけで溶解したもの(有機物成分)、HNO_3の不溶部分をHFで溶解したもの(無機物成分)からSr Resin(100-150mesh)でSrのみを単離した。漆は前述の方法でSrを単離した。それらを東京大学地震研究所に設置されている多重検出型誘導結合プラズマ質量分析計(MC-ICP-MS)を用いて^{87}Sr/^{86}Srを測定した。

さらに、主要な漆産地について、土壌の交換性成分と漆の^{87}Sr/^{86}Srを測定した。

【結果】

日本産漆と中国産漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ を図1に示す。日本産漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は0.705-0.709, 中国産漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は0.712-0.719の範囲にあった。各測定値の相対標準偏差は0.013-0.022の範囲である。これにより、日本産漆と中国産漆は $^{87}Sr/^{86}Sr$ により識別できることが明らかになった。

茨城県大子町産の漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ に対する土壌成分の $^{87}Sr/^{86}Sr$ を図2に示す。漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ との差は交換性成分(0.000), 有機物成分(0.001),無機物成分(0.005), 全体(0.003)であった。

日本産漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ と交換性Srの $^{87}Sr/^{86}Sr$ を図3に示す。それらは3桁の範囲で一致した。また、各測定値の相対標準偏差は0.013-0.020の範囲にあった。したがって、漆のSrの起源は土壌の交換性成分であると考えられる。

【考察】

同位体比分析により、日本産漆と中国産漆は明瞭に区別できる。この差は土壌中のSr同位体比の差を反映していると考えられる。日本差漆に比べ、中国産漆のほうが高い $^{87}Sr/^{86}Sr$ を示した。これは土壌の基となる母岩の形成された年代によるものだと考えられる。

漆に含まれるSrは土壌の交換性成分のSrを起源としていると考えることができる。また、有機物成分ともほぼ一致した値を示した。有機物成分と完全に一致しないのは、溶解したときに有機物成分だけでなく無機物成分も溶解してしまったからであると考えている。一方で、主にケイ酸塩である無機物成分が高い $^{87}Sr/^{86}Sr$ を示した。その理由は、母岩あるいは大気降下物に由来する難溶性Srの影響であると考えられる。

日本列島の主な漆産地の漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ とその生育土壌の交換性成分の $^{87}Sr/^{86}Sr$ を比較すると、ほぼ一致した値を示した。これにより漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は土壌の交換性成分を反映しているということが確認された。

産地での土壌の $^{87}Sr/^{86}Sr$ の変化幅などを蓄積する必要があるが、$^{87}Sr/^{86}Sr$ トレーサーは漆の産地識別に有効に利用できると考えられる。また、産地間の同位体比の差異を検討した上、ほかの同位体比情報を加え、さらに詳細な産地識別の可能性を探る計画である。

この手法を用いて縄文時代早期に遡るとされる漆製品の原材料が、はたして列島産であるかを明らかにしたいと考えている。

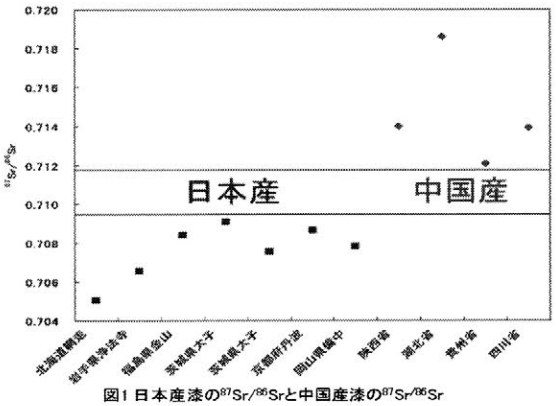


図1 日本産漆の$^{87}Sr/^{86}Sr$と中国産漆の$^{87}Sr/^{86}Sr$

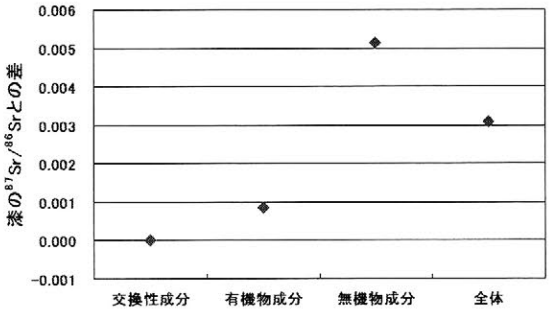


図2 漆の$^{87}Sr/^{86}Sr$と土壌成分の$^{87}Sr/^{86}Sr$

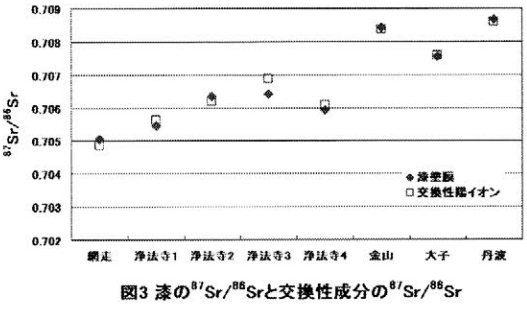


図3 漆の$^{87}Sr/^{86}Sr$と交換性成分の$^{87}Sr/^{86}Sr$

【文献】

・本多貴之, 渡邊裕之, 吉田邦夫, 宮腰哲雄 (2008)「新潟県野地遺跡出土漆資料の科学的な分析」環境史と人類 2, p.121-129

・Noshiro, S., Suzuki, M. and Sasaki, Y. (2007) Importance of Rhusverniciflua Stokes (lacquer tree) in prehistoric periods in Japan, deduced from identification of its fossil woods, Veget. Hist. Archaeobot.16, 405-411

鹿児島県北部における新黒曜石原産地の発見と意義
—いわゆる「霧島山産」黒曜石の解明にむけて—

○長井雅史[1)]・中村守男[2)]・岸田裕一[3)]・柴田徹[4)]
・金成太郎[4)]・弦巻賢介[5)]・杉原重夫[6)]
1）防災科学技術研究所，2）伊佐市教育委員会，3）中津市教育委員会，
4）明治大学文化財研究施設，5）明治大学院・地理，6）明治大学地理学研究室

1．はじめに

宮崎県柿川内遺跡で出土した黒曜石製遺物について，坂田（1982）は既知の原産地にはあたらないとして「霧島山産（？）」として報告した。以後，宮崎県や鹿児島県の遺跡から同種の遺物が少なからず出土し，藁科の「内屋敷 UT 遺物群」や望月・岸田の「尾立第 2OX 群」として分析結果が報告されている。このように九州南部で「霧島山産」黒曜石は石器時代の黒曜石利用にとって重要な位置を占めており，原産地の解明が急務と考えられる。よって，野外調査を実施するとともに，鹿児島県下殿瀬ノ上遺跡出土の黒曜石製遺物についてガラスビード法による蛍光 X 線定量分析を実施し，両者の岩石学的な特徴の比較を行った。また，標識遺跡である柿川内遺跡の黒曜石製遺物について原産地推定分析が未実施であったために蛍光 X 線分析装置を用いて定性分析を行った。さらに分析者ごとに名称，分析値が異なるため相互比較が困難であることを考慮し，内屋敷遺跡，尾立第 2 遺跡など宮崎県，鹿児島県北部の遺跡出土資料（図 1）についても定性分析を実施した。

2．黒曜石原産地の調査結果と全岩化学組成

これまで「霧島山産」とされていたが，いわゆる霧島火山は大部分が安山岩で構成され，黒曜石や流紋岩が存在しているという報告はない。したがって原産地がこの地域に存在する可能性は低いので，周辺の火山岩地域も広く検討対象にする必要がある。今回は北薩火山岩類分布地域で地表地質調査を行った。この地域についても安山岩質噴出物が主であるが，デイサイトや流紋岩の存在も報告されており，桑木津留や日東といった黒曜石原産地が点在することもすでに明らかになっている。

調査の結果，黒園山南方の楠本川やその支流の河床において黒曜石礫が存在していることが確認され，同種の黒曜石礫を含む軽石質な泥流堆積物露頭も見出された。これは NEDO（1991）の「般若寺溶結凝灰岩類」の下部を構成する火山円礫岩や凝灰岩の一部にあたると考えられるが，礫の起源としては下位の「黒園山石英安山岩類」の一部を構成する流紋岩質火山体に由来している可能性も残されている。

鏡下の観察では，楠本川で採取した黒曜石は球顆・斑晶ともに非常に乏しい。ただし少量だが黒雲母微斑晶に富む試料も存在する。

黒曜石礫の定量分析により全岩化学組成を求めた結果，SiO_2 量は 77.3-77.5wt%で南九州の黒曜石原産地では小浜系，長谷系，三船系，桑木津留系に近い。このなかで桑木津留系とは K_2O に富み CaO にやや乏しいなどの特徴で類似している。しかし桑木津留系よりも MnO に乏しく Sr に富む点が異なっている（図 2）。下殿瀬ノ上遺跡出土の黒曜石製遺物は球顆の有無にバリエーションがあるが，全岩化学組成は楠本川の黒曜石礫と一致しており，これらは同一の，既知ではない岩体に由来するものと考えられる。従来の用いられた「霧島山」という名称は誤解を招く恐れがあるため，今回最初に黒曜石礫が採取された地域にちなみ「菱刈系」と命名することにする。

3．遺跡出土遺物の定性分析結果

宮崎県・鹿児島県北部の各遺跡（図 1）から出土した黒曜石製遺物について非破壊状態での定性分析を行った。分析方法の詳細は杉原ほか（2010）を参照のこと。菱刈系，及び代表的な遺跡の分析結果を図 3 に示す。遺物は Rb 分率図，Sr 分率図ともに菱刈系黒曜石に近接した位置に集中してプロットされ，そのほかに桑木津留系，白浜系が検出された。また，Sr 分率図では菱刈系の分布範囲と重複してプロットされているが，Rb 分率図で Rb 分率，Mn×100/Fe の値がやや少ない方向に広がる遺物は，球顆が認められるという違いがある。定量分析の結果も含めて

推察すると，これらは元来菱刈系に属するが，定性分析では球顆などの不均質構造に影響された可能性が考えられる。球顆に富む黒曜石の野外での採取も含め，分布や産状の確定は今後の調査課題である。

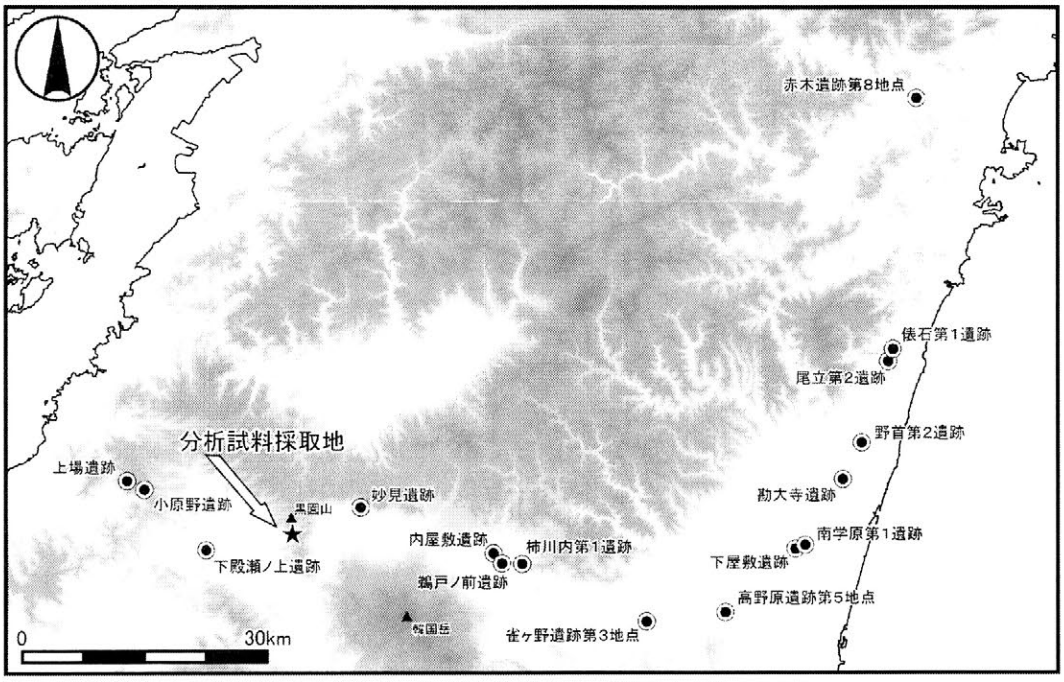


図1．分析試料採取地および分析対象遺跡位置図．
作図にあたっては国土地理院刊行の数値地図を用い，カシミール3Dにより作成した．

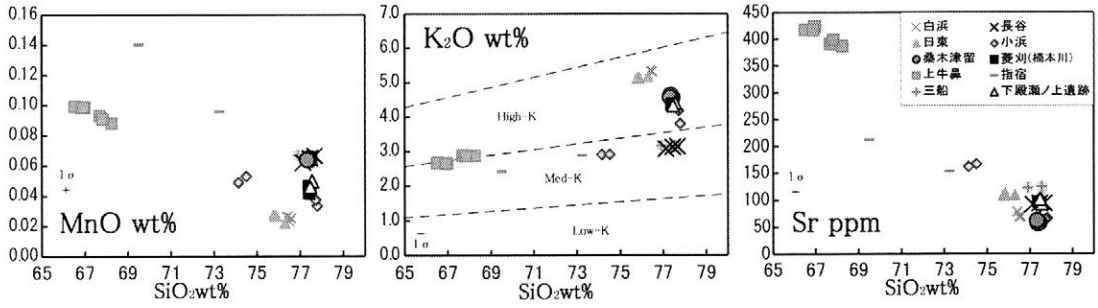


図2．南九州の黒曜石原産地および下殿瀬ノ上遺跡産黒曜石遺物の全岩化学組成(ハーカー図)．

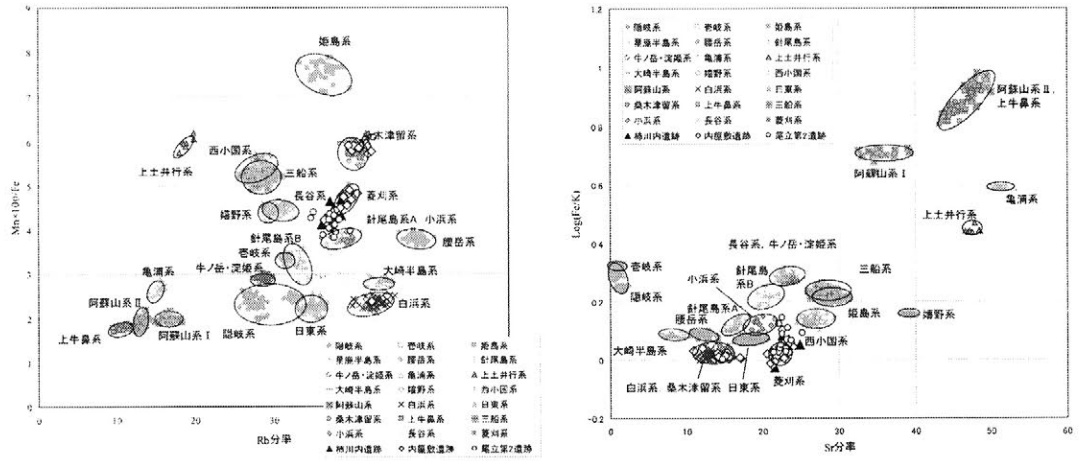


図3．宮崎県・鹿児島県北部の代表的遺跡産黒曜石遺物の判別図．

弥生時代から古墳時代における島根県内の遺跡から出土した朱の産地同定

○南　武志(近畿大，理工)，岩橋孝典，大庭俊次、伊藤　智、柴崎晶子(島根県埋文センター)，坂本豊治(出雲市文化財課)，渡辺貞幸(出雲弥生の森博物館・島根大名誉教授)

1.はじめに

われわれは、遺跡より出土した朱（硫化水銀）の産地を同定するというテーマに取り組んでいる。弥生時代後期から古墳時代にかけて遺跡内の遺体安置部分やその周辺および壁面に朱が用いられる風習があり、しかも１つの遺跡で多量の朱を用いている場合が見受けられる。この朱の産地を同定することにより、中国の影響あるいは大和王権の影響を推測することを目的にしている。その過程で、日本および中国の辰砂鉱山鉱石の辰砂（朱）部分を取り出し、その構成成分であるイオウの同位体比を測定した。その結果、古代に開発されたと考えられている日本と中国の辰砂鉱山から採取した朱のイオウ同位体比が全く異なり、日本産は標準品よりマイナスの値を示すが、中国産はプラスの値を示した。また、古代日本の主な辰砂鉱山として知られている三重県丹生鉱山産と奈良県大和水銀鉱山産および徳島県水井鉱山産の間には有意な差が認められた。この測定結果を用いて西日本各地の遺跡出土朱のイオウ同位体比を測定したところ、北部九州、出雲、因幡、丹後の弥生時代後期の遺跡の一部より中国産と推定される朱の使用が確認された。そこで今回、出雲地方に焦点を絞って弥生時代後期から古墳時代の遺跡から出土した朱のイオウ同位体比を測定して産地の同定を試みた。その結果、出雲西谷墳墓群の特殊性が見えてきたので報告する。

2.試料と測定方法

島根県教育庁埋蔵文化財調査センターと出雲市文化財課および島根大学考古学研究室より提供していただいた下記遺跡より採取した朱を用いた。

出雲市西谷２号墓、３号墓（弥生時代後期後葉）
松江市布志名大谷Ⅲ遺跡１号墓（弥生時代後期後葉）
松江市沢下遺跡（弥生時代後期末）
安来市安養寺１号墓（弥生時代後期末）
安来市宮山Ⅳ号墓（弥生時代後期末）
安来市吉佐山根１号墳（古墳時代前期）
安来市塩津山１号墳（古墳時代前期）
雲南市松本１号墳（古墳時代前期）
大田市庵寺１号墳（古墳時代前期）
松江市上野１号墳（古墳時代前期末～中期初頭）
松江市塚山古墳（古墳時代中期）

イオウ同位体比分析は、次の方法で行った。すなわち、朱部分を逆王水に溶解し、塩化バリウムを加え硫酸バリウムの沈殿とし、これに五酸化バナジウムとケイ酸を加えて混和、石英管に詰めて金属銅を上にのせて真空下で加熱し、二酸化イオウガスを採取した。採取したガスを質量分析計(DELTAplus, Thermo Finnigan 社)でイオウ同位体比（$^{34}S/^{32}S$）を分析した。別に標準品としてキャニオン・ディアブロ隕石のイオウ同位体比を分析し、この標準品に対する割合を$\delta^{34}S$‰であらわした。

3.結果および考察

西谷２号墓の中心埋葬と考えられる第２主体は+10.06～+17.74‰であり、３号墓の中心埋葬と考えられる第４主体は+3.17～+9.94‰であった。西谷墳丘墓と沢下遺跡以外で今回イオウ同位体比を測定した島根県の遺跡出土朱は図１に示すように全てマイナスの値であった。

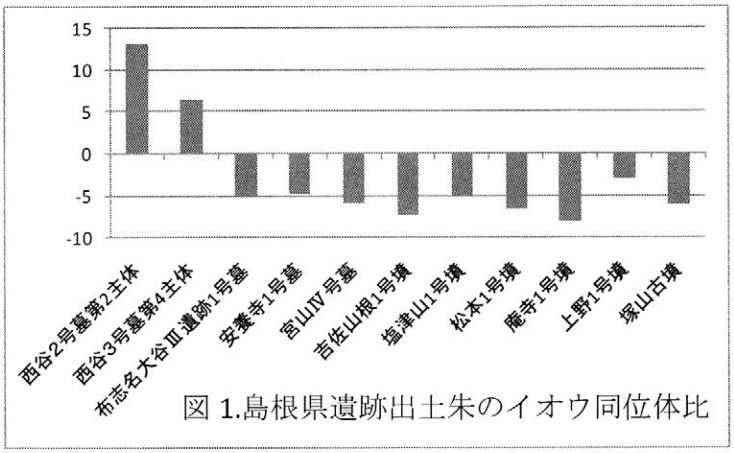


図 1.島根県遺跡出土朱のイオウ同位体比

沢下遺跡６号墓(図２)は、西谷２号墓・３号墓と同じく四隅突出型墳丘墓である。グループ１は棺の遺体頭部および胴体部分に相当する箇所であり、グループ２は足元に相当する。グループ1に相当する部分からは計16サンプルが採取された。グループ２に相当する部分は４カ所から朱を採取できた。その結果、グループ１のイオウ同位体比は-0.47～-2.57‰（-1.81±0.63‰、平均±ＳＤ）、グループ２のイオウ同位体比は+2.20～+4.86‰（+3.51±1.17‰）と両者は明らかに異なっていた。辰砂鉱山鉱石のイオウ同位体比は、中国陝西省産+7.79‰、三重県丹生鉱山産-7.26‰、徳島県水井鉱山産-2.38‰、奈良県大和水銀鉱山産-2.05‰であった。このことから、西谷２号墓・３号墓に使用された朱は中国産と考えられるのに対し、沢下遺跡朱は日本産と中国産を混合した可能性が示唆される。さらに両者以外の島根県遺跡に使用された朱は日本産の可能性が大との結果が得られた。なぜ西谷墳丘墓だけが中国産の値を示すのか。考古学者の研究に期待したい。イオウ同位体比分析だけでは混合された可能性が示唆できるが、それ以上は難しい。現在、我々は水銀同位体比分析を行っている。水銀は７つの安定同位体が存在しているが、放射起源同位体を含んでいない。しかも水銀同位体は一番軽い ^{196}Hg と一番重い ^{204}Hg の質量の相対的な差が約４%であり、自然界の水銀同位体比変動は生物地球化学的ないし物理的現象によって引き起こされるごくわずかな変化に限られるため、極めて高度な分析技術が要求される。最近、マルチコレクターＩＣＰ-ＭＳで微量な変化を検出することができるようになり、朱の産地同定の有力な武器になると考えている。水銀同位体比分析で鉱山朱産地に違いがあることを確認した上で、遺跡朱の産地同定をイオウ同位体比分析と同時に行うことにより精度を高めることが可能と考えている。最後に本測定法を紹介する。

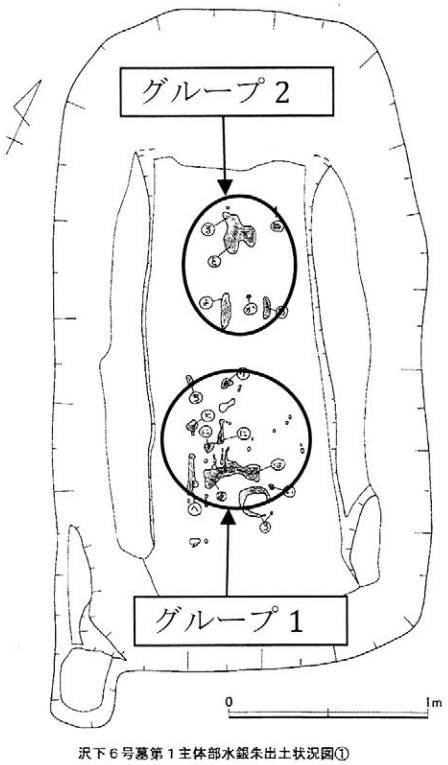


図 2.沢下６号墓の朱採取場所

謝辞：本研究の一部は、福武学術文化振興財団の助成によって行われた。ここに記して感謝の意を申し上げます。

土器中軽石の起源推定
—千葉県長平台遺跡と鹿児島県橋牟礼川遺跡の場合—

管野稔洋（立正大地球），嶋田有里奈（立正大地球），
○福岡孝昭（立正大地球），藤根久（(株）パレオ・ラボ）

1．はじめに

土器には焼成時に割れることを防ぐために砂粒などの混和材を混ぜている。混和材の存在は土器の製作地を推定する目的で行われる、胎土分析の結果の対比の分解能を悪くしている。

土器によっては、混和材として軽石を用いたものがある。本研究ではこの軽石の起源を明らかにすることを目的とした。

2．試料と実験

本研究に用いた土器試料は千葉県市原市長平台遺跡(弥生時代終末期)から出土したものと、鹿児島県指宿市橋牟礼川遺跡(古墳時代)から出土したものを用いた。

混和材の軽石の起源の候補として、長平台遺跡土器については木更津市高倉の藪層中軽石、橋牟礼川遺跡土器については、指宿市の池田湖火砕流堆積物中軽石を用いた。さらに藪層軽石の給源と考えられている八ヶ岳 BBP(長野県川上村金山)を検討試料とした。

土器及び各軽石層中の軽石を軽く粉砕し、ふるい(－80 mesh)、水洗、電磁分離(アイソダイナミックセパレータ)、ハンドピックにより火山ガラスと重鉱物(角閃石と斜方輝石)を純化した。

純化されたガラス等の屈折率を RIMS(温度変化型屈折率測定装置)により測定した。 火山ガラスの主成分元素組成は SEM-EDS で分析した。

3．結果

屈折率の測定結果を表1に、火山ガラスの主成分元素組成を表2にそれぞれ示した。

表１．火山ガラス，鉱物の屈折率

試料名	火山ガラス	角閃石	斜方輝石
長平台遺跡土器	1.502 — 1.504	1.670 — 1.678	—
高倉(千葉県木更津市)	1.522 — 1.525	1.672 — 1.675	1.701 — 1.703
八ヶ岳 BBP	1.502 — 1.504	1.664 — 1.668	—
町田・新井（2003）	1.500 — 1.503	1.664 — 1.669	—
橋牟礼川遺跡土器	1.499 — 1.503	1.674 — 1.678	—
池田湖	1.499 — 1.502	1.673 — 1.676	—
町田・新井（2003）	1.501 — 1.502	1.670 — 1.678	—
鬼界アカホヤ			
町田・新井（2003）	1.506 — 1.522	—	—

表２．火山ガラスの主成分元素組成

試料名	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	total	N
長平台遺跡土器	77.0	0.1	13.2	1.3	0.2	0.0	1.6	4.3	2.2	100.0	19
八ヶ岳 BBP (GoP_1)	77.3	0.1	13.5	1.0	0.1	0.0	1.5	4.6	1.9	100.0	20
橋牟礼川遺跡土器	76.9	0.1	13.7	0.9	0.1	0.0	0.9	3.5	4.0	100.1	20
池田湖	76.1	0.1	14.5	0.9	0.1	0.0	0.9	3.8	3.6	100.0	5
Ui (1971)	76.4	0.2	13.7	1.1	0.3	0.1	1.2	3.6	3.5	100.0	—
鬼界アカホヤ 町田・新井 (2003)	75.2	0.5	12.9	2.5	0.5	0.1	2.0	3.3	3.0	100.0	—

*: 全鉄を FeO とした。

4. 考察

4.1 長平台遺跡土器中軽石の起源

土器中軽石のガラスと八ヶ岳 BBP のガラスの屈折率は良く一致し、BBP の文献値とも一致した（表1）。高倉の軽石ガラスは風化が著しく、新鮮なガラスは回収できなかった。土器中角閃石の屈折率の値は八ヶ岳 BBP 軽石中角閃石の値にくらべ範囲が広く、完全には一致しなかった（表1）。高倉の軽石層角閃石とは良い一致を示した（表1）。

高倉の軽石層には斜方輝石が含まれていたが、土器、BBP には含まれていなかった。

土器中ガラスと八ヶ岳 BBP ガラスの主成分元素組成は良く一致している（表2）。

以上の結果・考察から土器中軽石の起源は八ヶ岳 BBP であると考えられる。土器中の角閃石の屈折率の範囲が広い原因は混和材が BBP だけでなく他の砂（角閃石を含む）が混在していることを示している。高倉に現存する軽石層は數層の一つではあっても、BBP 起源ではないことが明らかになった。

4.2 橋牟礼川遺跡土器中軽石の起源

土器中軽石と池田湖火砕流堆積物中軽石の火山ガラスと角閃石の屈折率は良く一致した（表1）．文献値とも良く一致した。

火山ガラスの主成分元素組成は、土器、池田湖とも一致し、文献値とも一致した（表2）。

遺跡の近くには鬼界アカホヤ火山灰層が存在する。アカホヤの火山ガラスの屈折率、主成分元素組成の文献値はともに土器、池田湖のガラスの値と一致しない。

以上の結果・考察から、土器中軽石の起源は池田湖火砕流軽石である。

5. まとめ

長平台遺跡の土器中軽石の起源は BBP であるが、混和材には他起源の砂（鉱物）を含んでいる。橋牟礼川遺跡の土器中軽石は従来いわれていた通り、池田湖火砕流軽石である。

参考文献

町田洋、新井房夫（2003）新編火山灰アトラス［日本列島とその周辺］、東京大学出版会

Ui, T. (1971)　Bull. Earthquake Inst. Univ. Tokyo 18, 53-127.

白滝黒曜石の化学組成と微細組織
-原産地推定のための岩石基礎資料の確立-

○和田恵治（北海道教育大学旭川校）・佐野恭平（北海道教育大学旭川校）

1. はじめに

白滝黒曜石地域は，流紋岩溶岩の断面露頭を複数有する日本最大規模の黒曜石原産地である。黒曜石産地のふもとには旧石器時代の大規模な白滝遺跡群があり，何万点にものぼる大型の黒曜石石器が出土する。白滝産黒曜石の拡がりは遠くサハリンや東北地方・千島列島まで及び（Kuzmin et al., 2002；木村, 2005；Phillips and Speakman, 2009），石器石材の原産地として白滝黒曜石の化学組成を地質学的・岩石学的視点から詳細に調べることは重要である。今回，白滝黒曜石の化学組成と微細組織の特徴を明らかにし，白滝黒曜石の原産地推定のための岩石学的基礎資料を以下に示した。

2. 白滝黒曜石を形成した流紋岩マグマ活動

白滝地域では，幌加湧別カルデラ形成後の約 220 万年前に，カルデラ内あるいはカルデラ壁で，無斑晶質の流紋岩マグマが異なる火道を使って多数噴出し，それぞれ溶岩外皮に黒曜石層を作って固結した（和田他, 2009；和田, 2010）。これらは白滝黒曜石流紋岩溶岩群と呼称され，10 個の溶岩ユニットが識別される（赤石山山頂部溶岩・赤石山上部溶岩・幌加湧別溶岩・十勝石沢溶岩・北湯ノ沢溶岩・鹿砦上部溶岩・鹿砦下部溶岩・850m 溶岩・830m 溶岩・赤石山下部溶岩）（和田, 2010）。

3. 白滝黒曜石の肉眼的及び顕微鏡下における特徴

白滝黒曜石は漆黒状（時に酸化して赤褐色）で，その手触りはつややかな光沢状のものと，ややざらざらした梨肌状のものがある（木村, 2005 など）。ここではそれらを光沢状タイプと梨肌状タイプと呼ぶ。顕微鏡下においては，白滝黒曜石は無斑晶質で火山ガラスからなるが，微小な鉱物を微量含む。ここでは直径 20-200μm の鉱物をマイクロライト，＜20μm の鉱物をクリスタライトと呼ぶことにする。光沢状タイプはマイクロライトを含むことはまれであるが，梨肌状タイプにはマイクロライトが少量含まれ，それらはほとんど斜長石結晶である。クリスタライトの大半は磁鉄鉱で 0.05～0.6％含まれる。光沢状タイプが産するのは，赤石山山頂部・赤石山上部・幌加湧別・北湯ノ沢・鹿砦上部の各溶岩の黒曜石である。梨肌状タイプは，十勝石沢・鹿砦下部・850m・830m・赤石山下部の各溶岩の黒曜石である。

4. 白滝黒曜石の全岩化学組成

白滝黒曜石がどのような化学組成なのか，そのスタンダードを定めておくことは原産地推定を行う上で重要である。火山岩は複数種類の鉱物とガラスから構成されるためマクロスケールで不均質である。そのため，その火山岩の化学組成は，岩石全体を powder 状にまで粉砕して試料の均質化を行って分析して得られる。それは噴出時のマグマの化学組成を表す。斑晶鉱物が含まれない白滝黒曜石も，少量の微小鉱物が含まれているので，全岩化学分析を行って，白滝黒曜石の全岩化学組成を求めることが必要である。それは白滝黒曜石を形成した流紋岩マグマの化学組成を示し，原産地推定を行う上で基準となる化学組成である。

白滝黒曜石の全岩化学組成（主成分/10 元素及び微量成分/18 元素）は，北海道大学理学部地球惑星科学教室の蛍光 X 線分析装置（PANalytical 社製 Magix PRO）で，1（粉砕した黒曜石粉末）:2（溶融剤 $Li_2B_4O_7$ と $LiBO_2$）に希釈したガラスビードを測定して得た。黒曜石 31 試料を分析した結果，主成分においても微量成分においても，白滝黒曜石は2つの組成グループ（赤石山系と十勝石沢系）に明瞭に分かれる（和田他, 2009）。すなわち同じ SiO_2 量で CaO, FeO*, MnO, MgO, TiO_2 が明瞭に異なる。微量元素では，Ba, Rb, Zr, Sr, La, Ce の含有量に違いが顕著である。

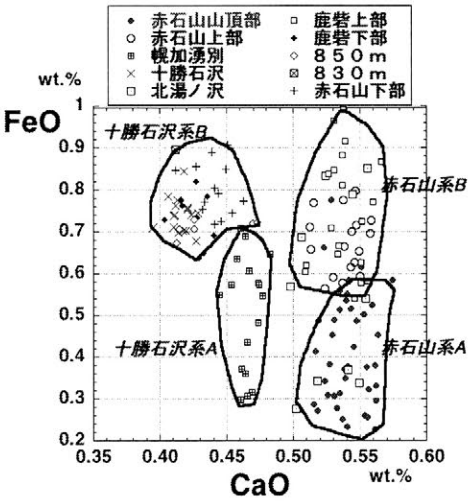
赤石山系の化学組成を示す溶岩グループは，赤石山山頂部溶岩・赤石山上部溶岩・北湯ノ沢溶岩・鹿砦上部溶岩である。一方，十勝石沢系の化学組成を示す溶岩グループは，幌加湧別溶岩・十勝石沢溶岩・鹿砦下部溶岩・850m溶岩・830m溶岩・赤石山下部溶岩である。赤石山系の化学組成をもつ黒曜石は光沢状タイプに，十勝石沢系のそれらはほとんど梨肌状タイプに対応するが，幌加湧別溶岩だけは例外で，光沢状タイプだが全岩化学組成は十勝石沢系に属する。このことは，白滝産黒曜石の産地推定において，光沢状だからといって，それが赤石山系だとすべて判断できないことを示す。

5. 白滝黒曜石のガラス組成

白滝黒曜石は 98-99%以上が火山ガラスからなり，ガラス組成はほぼ均質である。そのため，ガラスの化学組成は黒曜石の全岩化学組成に近似しており，ガラス転移温度で固化する直前の液体マグマの化学組成を代表していると考えることができる。しかし，黒曜石には磁鉄鉱のクリスタライトが散在するため，分析するときには磁鉄鉱を避けて，ガラス領域だけを注意深く分析点として決めて測定する必要がある。黒曜石ガラスの分析は北海道教育大学旭川校の波長分散型 EPMA(JEOL-JXA8600)で，加速電圧 15 kV，電流値 0.8×10^{-8} A，測定領域を径 10μm 平方で行った。測定元素は，Si O_2・TiO_2・Al_2O_3・FeO・MnO・MgO・CaO・Na_2O・K_2O・Cl である(和田ほか，2003)。

白滝黒曜石は，ガラス組成においても，全岩化学組成と同様，TiO_2/K_2O-CaO/Al_2O_3 図で，十勝石沢系(比が低い)と赤石山系(比が高い)とに区分される。また，FeO*(全鉄 FeO)-CaO 図では，FeO 量の違いによって両系列がさらにそれぞれ2つの組成グループに識別可能である(下図)。しかし4つの組成グループの境界はシャープではなく，組成領域の重なりがある。そのため組成境界にプロットされる試料の判別には注意が必要である。

十勝石沢系黒曜石のガラス組成では，概ね CaO が 0.45wt%以上で FeO*が 0.7 wt%以下の組成グループを十勝石沢系 A と呼称する。十勝石沢系 A は幌加湧別溶岩の黒曜石に相当する。概ね CaO が 0.4～0.47wt%，FeO*が 0.65 wt%以上の組成グループを十勝石沢系 B と呼称する。十勝石沢系 B に属するのは，十勝石沢溶岩・鹿砦下部溶岩・850m溶岩・830m溶岩・赤石山下部溶岩の黒曜石でこれらは梨肌状タイプでもある。十勝石沢溶岩の黒曜石ガラスに比べ，赤石山下部溶岩の黒曜石ガラスは FeO*と CaO がやや高い。

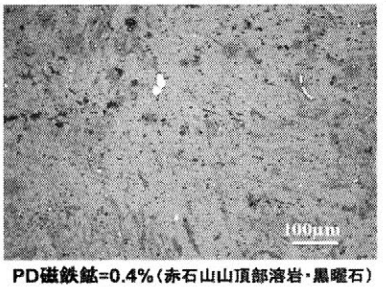


一方，赤石山系黒曜石のガラス組成では，十勝石沢系黒曜石ガラスよりも CaO が高い(＞0.5wt%)。FeO*がおよそ 0.56wt%以上の組成グループ(赤石山系 B)とそれ以下の組成グループ(赤石山系 A)に分けられる。赤石山系 A の組成領域には赤石山山頂部溶岩の黒曜石と北湯ノ沢溶岩の黒曜石の一部が入る。赤石山系 B の組成領域には赤石山上部溶岩・鹿砦上部溶岩・北湯ノ沢溶岩の黒曜石が入る。赤石山系 A は赤石山系 B に比べ，SiO_2 量がやや高い。

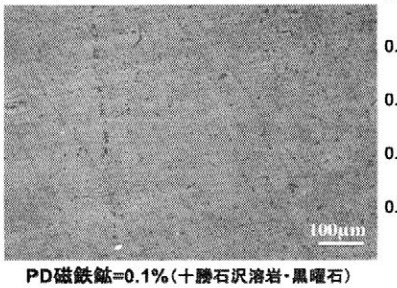
6. 磁鉄鉱微結晶と全岩及びガラス化学組成との関係

白滝黒曜石の全岩化学組成と黒曜石ガラスの化学組成を比べると，前述したようにほぼ類似するが，FeO 量だけは大きく異なる。赤石山系黒曜石の全岩 FeO 量は 1.0～1.05wt%だが，ガラス FeO 量は赤石山系 A が 0.2～0.56wt%，赤石山系 B が 0.56～1.0wt%と低くなる。また十勝石沢系黒曜石の全岩 FeO 量は 0.92～0.98wt%だが，ガラス FeO 量は十勝石沢系 A が 0.25～0.7wt%，十勝石沢系 B が 0.65～0.9wt%と低くなる。黒曜石には Fe_3O_4 の化学式をもつ磁鉄鉱が最大 1%含まれる。ガラスの FeO 量と磁鉄鉱の存在密度との間には負の直線関係が成立する(下図)。すなわち全岩組成では磁鉄鉱の組成が加わっているが，ガラスの分析では磁鉄鉱を分析領域に入れないので，磁鉄鉱の分だけ FeO 量がガラス組成では少なくなっていると考えられる。

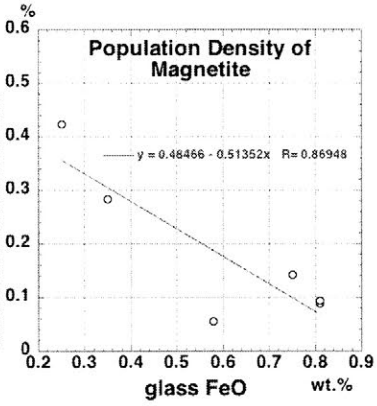
赤石山系 A の磁鉄鉱(白色)の存在密度(0.4%)；写真(左)
十勝石沢系 B の磁鉄鉱の存在密度(0.1%)；写真(右)，反射顕微鏡写真



PD磁鉄鉱=0.4%(赤石山山頂部溶岩・黒曜石)



PD磁鉄鉱=0.1%(十勝石沢溶岩・黒曜石)



東海地方における縄文時代草創期から早期の炭素14年代測定

○遠部　慎(北海道大学埋蔵文化財調査室),宮田佳樹(名古屋大学年代測定センター),
小林謙一（中央大学)

はじめに

近年，縄文時代の年代測定例が増加しつつあるが，草創期および早期の年代測定例は少ない（小林2007，小林編2008，山本2008）。発表者らは，これまでに西日本を中心としたAMSによる炭素14年代測定の事例を蓄積してきた（遠部ほか2007）。その結果，西日本における早期前半や，押型文土器期（遠部2009）や前期前半（遠部ほか2008）については土器型式ごとの大まかな年代的推移が把握できるようになってきた。

本研究では，静岡県伊東市内の遺跡群を中心とする縄文時代草創期から早期にかけての土器付着炭化物のAMSによる炭素14年代測定を実施したその結果について報告し，検討を加えることにしたい。

伊東市内の測定資料と測定結果

これまでに伊東市内における縄文時代前半期の年代測定例としては，三の原遺跡においてβ線による稲荷台式および諸磯式の所産と考えられる文化層から得られた試料（立教大学三の原遺跡調査団1991）の測定例がある。また少し時代は下るが，地質調査に伴って宇佐見遺跡においてAMSによる炭素14年代測定が行われている（藤原ほか2007）。

図1　測定遺跡位置図

本研究では，多縄文土器群（三の原遺跡），押型文土器群（東大室クズレ遺跡・ジンジ山遺跡），貝殻条痕文系土器群（物見台公園遺跡）（金子2009）の土器付着炭化物のAMS年代測定を行った。その結果，多縄文土器群は1000BP前後，押型文土器は9000-8700BP，貝殻条痕文系土器（鵜ガ島台式）は7690±40BPの測定値が得られた。ここで得られた測定結果は，土器の編年，つまり多縄文土器群，押型文土器群，貝殻条痕文土器群の考古学的な前後関係とも矛盾しない。

まとめ

これまでに筆者らが，年代測定を実施した周辺地域の事例を中心に比較，検討を行い，まとめにかえたい。多縄文土器群の年代測定は，福井県若狭町鳥浜貝塚（遠部・村上2008，2009）などで行っているが，その結果とも矛盾しない。後続する表裏縄文土器群の花ノ湖Ⅱ式の測定値も9755±50BPである（原ほか2010）。長野県飯田市美女遺跡の絡状圧痕文（葛原沢Ⅱ式）の測定値は11050±30BPである（遠部ほか2008）。また，静岡県沼津市葛原沢遺跡（小林2009）や芝川町大鹿窪遺跡（芝川町教育委員会2003，小林2007）などの草創期の竪穴住居址とも整合的である。

押型文土器群については，飯田市美女遺跡の測定例（遠部ほか2008）や愛知県南知多町先刈貝塚の測定例とも調和的である。貝殻条痕文系土器群は，鵜カ島台式～茅山下層式の所産と考えられる測定例（7200-7100BP）が千葉県八千代市間見穴遺跡（小林ほか2005）では得られており，今回の鵜カ島台式の測定結果とも整合的といえる。

本研究で行った，静岡県伊東市内の遺跡群を中心とした縄文時代前半期の年代測定結果は，周辺地域の例と比較してもきわめて整合性の高いものと考えられ，東海地方における縄文時代前半期の年代測定例の基準となる可能性が高い。今後も，測定例の少ない草創期前半，撚糸文土器群，押型文土器群以降の土器群（早期後半）について継続して測定作業を行っていく必要がある。

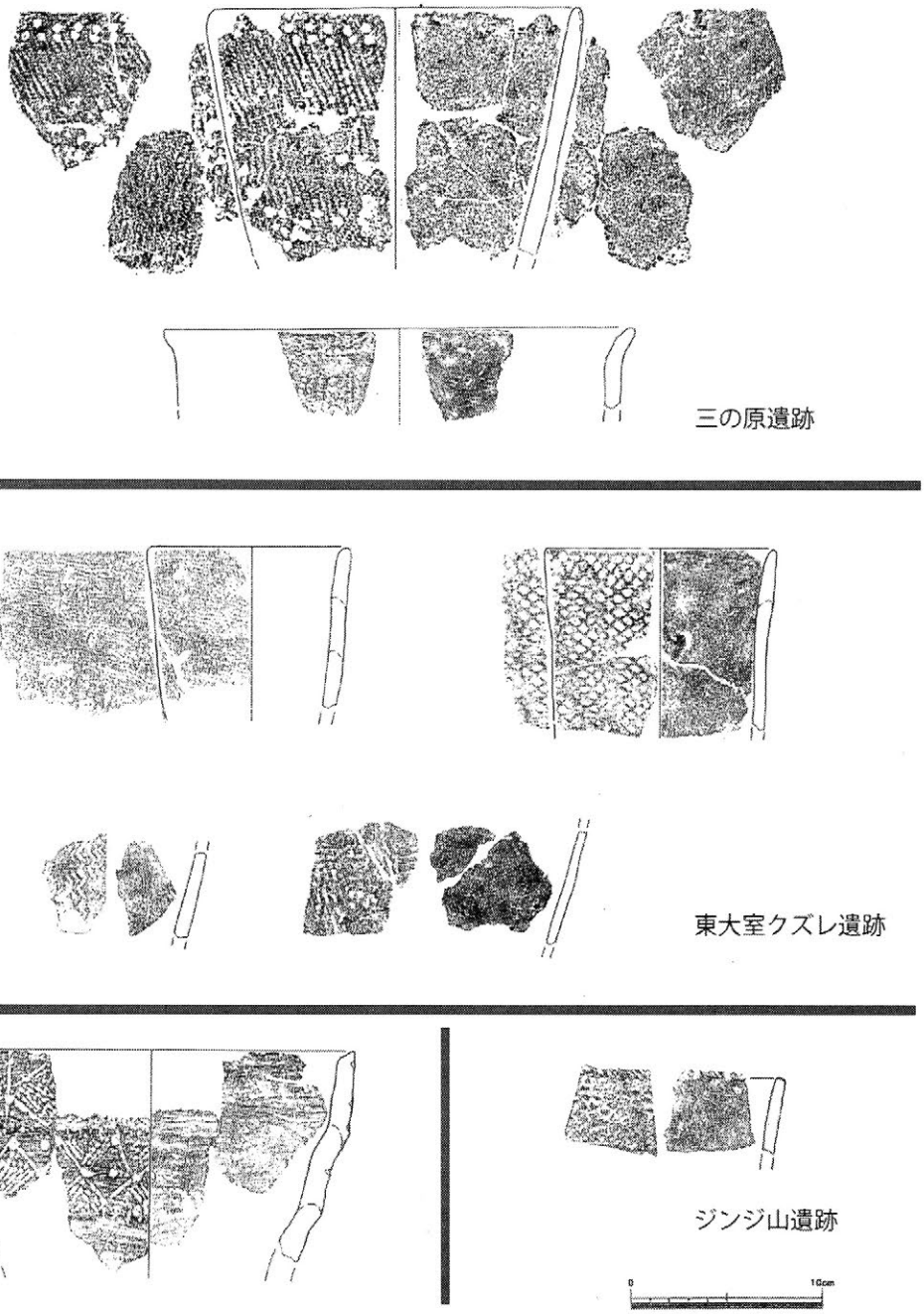


図２　年代測定を実施した資料（伊東市内）

本研究では，平成 16-20 年度科学研究費補助金（学術創成研究）「弥生農耕の起源と東アジア炭素年代測定による高精度編年体系の構築―」（研究代表　西本豊弘　課題番号 16GS0118），平成 19-20 年度科学研究費補助金「先史時代における貝塚出現期の年代学的研究」（課題番号 19800058）の成果の一部を用いている。資料の採取等にあたっては伊東市教育委員会の協力を得た。なお，文献等の詳細は省略した。

年代決定精度±1年レベルでの炭素14ウィグルマッチ法について

○ 今村峯雄[1]・パレオラボAMS測定グループ[2]
([1](元)国立歴史民俗博物館、[2](株)パレオ・ラボ)

1. はじめに

^{14}Cウィグルマッチ法は、歴年較正曲線(通常10年平均値)の凸凹(wiggle)を利用し^{14}C年代測定の決定精度を高める方法である。一定の年輪間隔で年輪試料を採取し、^{14}C濃度を測定しそのパターンを較正曲線と比較照合することによって、条件が整えば±数年～十数年オーダーでの年代決定を可能とする。一方、用いられる「IntCal」較正曲線は10年平均値で評価されているので、年輪数の少ない試料に対しては情報量が少なく、年代精度を高めるのは難しい。しかし、年単位の^{14}C較正データ(Stuiver et al.1998)には太陽活動による変動が現れるので、その微細構造(おもに太陽活動の周期性に対応)を解析することによって、小年輪試料に対しても高い年代決定の可能性が生ずる。本発表は、群馬県・国指定重要文化財彦部家住宅からの試料(保存材、22年輪)を用いて行なった試験結果から、小試料に対しる±1年レベルでの年代判定の可能性について論ずる。

2. 資料と方法

2－1. 資料

彦部家住宅は、群馬県桐生市に所在し、関東地方では最も古い時代に相当する標識的な古民家として知られる。本研究では、試料の年代測定を直接の目標とはしていないものの、得られた年代の評価を考える観点から対象試料を選定した。2009年夏、中尾七重氏らによる彦部家住宅の年代調査の際、解体修理に伴って保存されていた多数の木材の中から、当初材と見做される複数の測定用試料を収集した。本研究で使用した試料は、その一つで、建物の大引に相当する部材(そ二～そ四)である。辺材3.8cmが存在し、その中に18年輪を含む材であるので、樹皮に非常に近い材と想定される。樹種はマツで全体は33年輪からなるが、その外側22年輪を試料に供し、さらに2年ごと11試料に分割した。

2－2. 分析用木材試料の前処理

各分割試料から、それぞれ清浄なナイフを用いて小薄片状の分析試料数10ミリグラムを採取した。これらの試料に対して、パレオ・ラボ化学処理施設において標準的な前処理およびAMS用グラファイト作製を行った。まず純水で試料を超音波洗浄した後、酸・アルカリ・酸洗浄(塩酸:1.2N,水酸化ナトリウム:1N,塩酸:1.2N)を行い(AAA 処理)、純水中洗浄を繰り返し中性とする。乾燥後、試料の一部を秤量分取し、真空装置中で、高純度酸化銅を用いて二酸化炭素に変換、さらに精製を行なった後、粉末状の純鉄の存在下で水素ガスによって還元してグラファイトを析出させた。

2－3. AMS^{14}C測定

パレオ・ラボの小型AMS装置によって、各グラファイト(＋鉄)試料に対し^{14}C測定を行なった。誤差は0.2～0.25%で、標準試料統計誤差の伝播を含めて±17～20炭素年であった。

3. 結果と考察

3－1. ウィグルマッチ(wiggle-matching)

得られた、11試料の^{14}Cデータを Stuiver et al.(1998)によって発表されている1年ごとの較正データ(AD1510-1950)を用いて、最外層に対する年代の確率密度分布を求めた。解析はRHC3.2w(今村、2007)を用いた。その結果、年代的には95%信頼限界で、1651～1659年となる(図1 上図)。

3－2. データの「形状」による判定

測定で得られた一連の^{14}Cデータを、その傾きや凸凹の形状から判断し、年代の一層の精密化が図れないかについて考えた。すなわち、得られたデータセットを平均値(22年輪)からの偏差で定義し、独立の情報、「形状」データ、としてとらえる。

「形状」の解析は、試料に対応する形状データ(22年輪、11データ)と、較正曲線に対応する「基準」形状データ(22年輪、11データ)との偏差の二乗和で評価した。図2は、その結果を示す。数値が小さいほど合致度は高いが、統計的なばらつきの影響があるので、その中で、周期的な極小値として現れる年代が(形状の)合致度が高い。 3－1から規定される領域では、1651～2年と1657年が候補となる。

3－3. 系統的誤差:^{14}C の地域効果の問題

年代較正の基礎となる Stuiver et al.(1998)のデータは米国産木材である。日本産樹木については、宮原ら(2007)による屋久杉についての測定が報告されている。測定は名古屋大学の AMS 装置によって行なわれた。両者のデータは、該当する年代域で、誤差の範囲内でほぼ一致しているが、若干のマイナスの地域効果(新しい年代値)の傾向を示している。この傾向を有意であるとして、5～20 炭素年新しいとした場合の年代を求めると、いずれも 1651～1652 年に中心を持つ年代値が得られる (図1下図参照)。この結果は3－2で議論した 1651～2 年と整合する。

4. まとめと課題

1) 群馬県・重文彦部家住宅からの辺材を有する木材試料(22 年輪)を、2 年輪ごとに分割し AMS^{14}C 測定を行なった。ウィグルマッチ法によって、最外層の年代は 1651～1659 年(95%)と得られた。
2) さらに、較正曲線の微細構造に対応した ^{14}C 値の変化(形状データ)を、平均値からの偏差で定義し、その一致度を解析したところ、一致度の高い年代は 1651～2 年または 1657 年と考えられた。
3) 日本産と欧米産の木材の系統的差(地域効果)の影響を解析した。宮原(2006)による屋久杉の結果は、Stuiver et al.(1998)とほぼ一致しているが、該当する年代域で若干のマイナスの傾向を示している。このことを考慮すると、本試料は最外年輪=1652±1～2年の可能性が高いと判断される。重文彦部家の大引(そ二～そ四)に対する伐採年は、これに数年を加えた年代と推定される。
4) 以上、年単位の較正曲線を用いその微細構造の一致度を判定することで、年代決定精度を±1～2年に狭めることが可能であると判断された。この方法の確立のためには日本産樹木に対する1～2年単位での ^{14}C 年代較正曲線の整備が不可欠である。

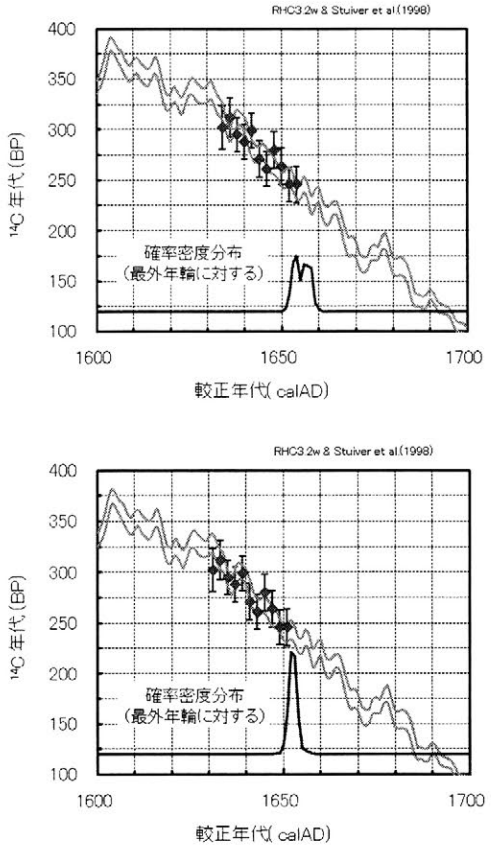


図1. ^{14}C ウィグルマッチ法による高精度年代判定. 上図は地域効果＝なし、下図は地域効果＝－10炭素年の場合の解析結果. プロットはピーク値の年代データに対応.

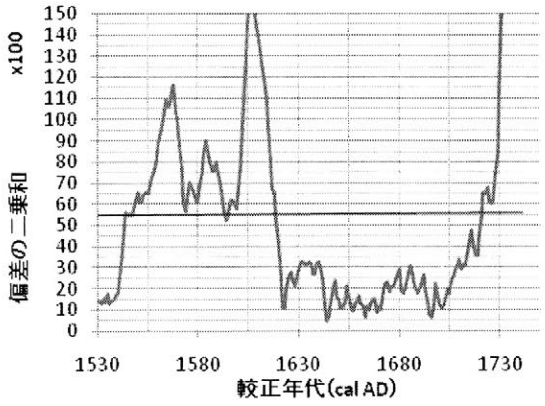


図2. データの「形状」による判定(本文参照).

謝辞:

試料提供に際し彦部篤夫氏、また試料採取にあたり、中尾七重・坂本稔氏のご協力を得た。記して感謝の意を表します。

文献:

1) M.Stuiver et al.(1998): Radiocarbon, 40, 1127-1151.

2)今村峯雄(2007)『国立歴史民俗博物館研究報告』第 137 集、79-88.

3) H. Miyahara et al.(2007),Advances in Space, 40, 1060-1063.

B-23

炭素14年代測定法を用いた古筆切の伝承筆者と書写年代の相違に関する研究 —伝中臣鎌足筆，伝宗尊親王筆古筆切等を例として—

○小田寛貴（名古屋大学年代測定総合研究センター），池田和臣（中央大学文学部），
安 裕明（茨城県立多賀高等学校）

古筆切とは流麗な筆跡で和歌・物語・経文などが書かれた和紙の断簡である．元々は，古写本や経巻などであったが，安土桃山時代以降，茶室で鑑賞する掛軸の題材とするために切断されたものである．古筆切には，その筆者名を記した極札という鑑定書が付されていることが多い．これは主に近世の古筆鑑定家によって付けられたものであるが，現代の書跡史学から推定される年代と異なる時代の人物が筆者にあてられているものが存在している．例えば，中臣鎌足(614-669)筆とされる古筆切は時代の下る中世のもの，宗尊親王(1272-1274)筆とされる古筆切は12世紀のものと考えられる．鎌倉期以前の古写本のほとんどが，現在では古筆切という断簡として伝世している．故に，古筆切の史料的な価値は極めて高いはずであるが，後世の写しや偽物も多く混在しているため，書写年代が不明のままではその価値は潜在的なものでしかない．本研究では，こうした古筆切の書写年代を明らかにすべく，加速器質量分析法による^{14}C年代測定を行った．

本研究では，まず書写年代の判明している古筆切・古文書・古写経等について^{14}C年代測定を行った．一般に，木製資料の^{14}C年代測定において得られる較正年代は，その資料が何らかの役割をもって歴史の中に登場した年代（歴史学的年代）よりも古い値を示す．いわゆるold wood effectである．歴史資料に^{14}C年代測定法を適用する際には，測定により得られる自然科学的年代と探求すべき歴史学的年代との関係を明らかにしておく必要がある．そこで本研究では，古筆切の年代判定に^{14}C年代測定法が有効な手法となりうるか否かを確認すべく書写年代の判明している古筆切・古文書・古経典等の^{14}C年代測定を行った．書写年代が十数年以下の誤差で判明している資料を第二世代AMSによって測定した結果を較正曲線IntCal09上に示したのが図1である．和紙は，楮・雁皮・三椏などの低灌木から生産される一種の木製資料である．しかし，そのold wood effectによる年代のずれが極めて小さいことが図1に見ることができる．その第一の理由として，製紙原料には生えて数年程度の枝が選択的に利用されるため，一般の木製資料で問題となる樹齢による年代のずれが小さいことが挙げられる．また，長期間保存した和紙は硬くなり書写に適さなくなる「風邪を引く」とよばれる現象を起こすため，原則的には製紙から料紙として利用されるまでの期間も短かったと考えられる．和紙は木製資料の一種であるが，樹齢や乾燥期間などに由来するold wood effectが小さく，^{14}C年代測定に適した資料であるということができる．

次に，極札に記された人物の生没年と書跡史学の面から求められる年代とが異なる古筆切五点(妙法蓮華経巻第五断簡・山城切・鶉切・春日懐紙切・十巻本歌合切)に，^{14}C年代測定法を適用した．表1に，極札に記された伝承筆者，書跡史学的年代とともに^{14}C年代測定の結果を示した．なお，先行研究(Oda et al., 2007)において得られた 三輪切・斎宮女御集断簡の結果も併せて示した．宗尊親王筆とされる十巻本歌合切の書風がそれ以前の11世紀中頃を呈している以外は，極札にある人物の年代よりも後世のものであることが書跡史学の面から指摘されている．これに対し^{14}C年代測定では，いずれの資料についても極札にある筆者の生没年とは一致しない結果を得た．また鶉切を除くと，較正年代はいずれも書跡史学的年代と符合する値を示している．本研究の結果から，書写年代と異なる時期の人物が極札に記されている古筆切の存在が自然科学的にも確認され，古筆切の史料的な価値

を明らかにするため，書跡史学的な視点と ^{14}C 年代測定法という自然科学的手法とによって，その書写年代を判定する必要性が示されている．

^{14}C 年代測定を行うにあたって，株式会社パレオ・ラボの AMS 年代測定グループの皆様には大変お世話になりました．記して深く感謝する次第です．

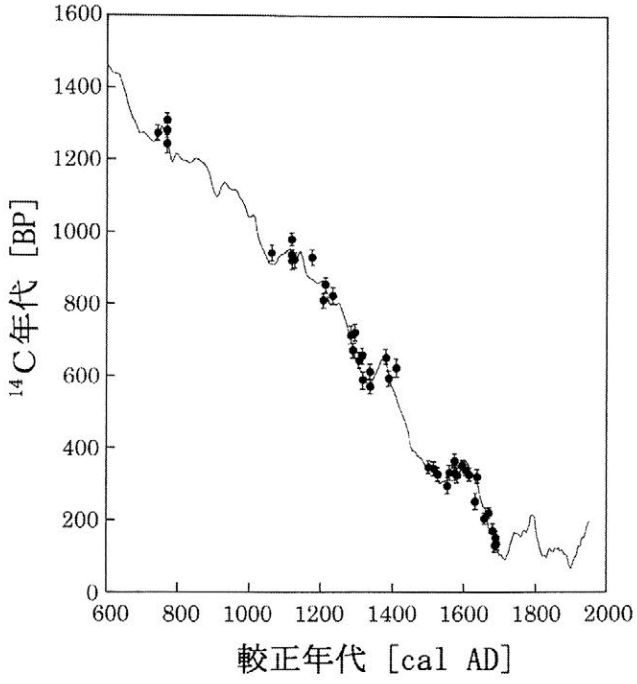


表 1．^{14}C 年代測定の結果

名称	伝承筆者 (生没年)	書跡史学 的年代	^{14}C 年代 [BP][1]	較正年代 [cal AD][2]
妙法蓮華経 巻第五断簡	中臣鎌足 (614-669)	10-15C 初	604±17	1308(1319)1328, 1341(1351)1362, 1386(1390)1395
			±35	1299(1319, 1351)1369, 1380(1390)1404
山城切	藤原定頼 (995-1045)	12C	880±21	1157(1164)1209
			±41	1049()1084, 1124()1137, 1151(1164)1216
鶉切	藤原顕輔 (1090-1155)	鎌倉初期	695±23	1278(1284)1292
			±46	1272(1284)1299, 1369()1381
春日懐紙切	平重盛 (1137-1179)	1275 頃	683±21	1281(1287)1295
			±42	1276(1287)1303, 1366()1383
三輪切[3]	俊寛 (1142-1179)	鎌倉	615±14	1303(1313)1322, 1348(1357)1365, 1383(1388)1392
			±29	1297(1313)1331, 1338(1357)1375, 1375(1388)1397
斎宮女御集 断簡[3]	藤原行能 (1179-1250)	鎌倉後期	649±18	1291(1298)1307, 1363(1371, 1378)1385
			±36	1285(1298)1318, 1352(1371, 1378)1390
十巻本 歌合切	宗尊親王 (1242-1274)	11C 中	941±23	1032(1044)1054, 1077(1099, 1119, 1142, 1147)1154
			±45	1024(1044, 1099, 1119, 1142, 1147)1160

*1) 上段は 1σ，下段は 2σ の誤差．
*2) 括弧内の値は ^{14}C 年代の中央値を，括弧外の値は誤差の両限を較正したものである．
*3) Oda et al.(2007) Nucl. Instr. and Meth. B 259, 374-377.

秋田県森吉家ノ前A遺跡の木質遺物を用いたスギ標準年輪曲線の構築と年輪年代学的解析から推定される遺構間の年代関係

○星野安治[1,2]，大山幹成[1]，米延仁志[3]

[1]東北大学学術資源研究公開センター植物園
[2]日本学術振興会特別研究員 PD
[3]鳴門教育大学大学院学校教育研究科

はじめに

発表者らは，樹木年輪による年代測定と産地推定，及び気候復元を目的として，その基礎となる標準年輪曲線の広域ネットワークを構築している。年輪年代学では，暦年代や試料間の相対的な年代関係が誤差無く決定できる。さらに，より多くの試料から得られる年輪記録を蓄積することにより，年代測定だけでなく，地域標準年輪曲線と試料との類似度による産地推定を行い，過去の木材交易経路の推定という発展が期待できる。そのため，従来行われてきた単木あるいは代表的と思われる遺物部材のみを対象とするのではなく，遺跡から出土する木質遺物を可能な限り年輪年代調査に供することが望ましい。

森吉家ノ前 A 遺跡は，秋田県内陸北部に位置し，森吉山の北麓を流れる小又川の右岸にある。本遺跡では，遺構間の年代関係について，切りあい関係による証拠が乏しい。しかし，多数の木質遺物が出土しており，年輪年代学により遺構間の年代関係を明らかにできる可能性が高い。本研究では，森吉家ノ前 A 遺跡の中世集落跡から出土したスギ材を対象に，本遺跡での標準年輪曲線の構築と，遺構間の年代関係について検討した。

試料と方法

秋田県埋蔵文化財センターに保管されていた同遺跡出土材から，年輪数の多寡を肉眼で判断し，年輪数の多いもの（50 層以上）を選別して供試試料とした。試料の木口面または柾目面で年輪幅を測定し（精度 0.01mm），その際，年輪界の判断が困難な箇所についてのみ，剃刀を用いて表面を切削して，より明瞭な計測断面を得た。同時に切片をプレパラート上に固定し，樹種同定を行った（保存処理されたものを除く）。クロスデーティングは，年輪考古学の常法に則して行った。すなわち，*t* 値（Baillie and Pilcher (1973)）と Gl（Eckstein and Bauch (1969)）により年輪年代の候補を絞り込み，最終的に年輪曲線をプロットしたグラフの目視評価から年輪年代を決定した（ソフトウェア PAST4；SCIEM inc.）。

成果の概要

供試試料は，いずれもスギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）と同定された。

まず各試料間相互でクロスデーティングを行い，次に各試料が複数の試料に対して矛盾の無い年代関係となるかどうか反復検証を行った。この過程を経て相対年代を決定した試料の年輪幅時系列をアンサンブル平均して得られた仮の標準年輪曲線と，各試料間でクロスデーティングを行い，各年代をカバーする試料数（sample depth）を増やすことで，標準年輪曲線の質向上を図った。その結果，439 年長の年輪曲線を，39 点の試料を用いて構築することができた（図 1）。この年輪曲線は，統計的クロスデーティングの結果も十分に高いと判断できることから，本遺跡で供試した試料の年輪変動を代表する標準年輪曲線が得られたと言える。この標準年輪曲線は，青森県十三湊遺跡で調査中の，中世のヒバ材を用いて構築された標準年輪曲線とクロスデーティングが可能で，また出土磁器から推定される考古学的な年代観や ^{14}C 年代とも矛盾しないため，中世の東北地方における新たなスギ標準年輪曲線を構築できたと考えられる。

遺構間の年代関係について，各試料の年輪年代期間を示すバーチャートを遺構ごとに整理することで検討した（図2）。最も古い遺構と，最も新しい遺構とでは，使用された部材の伐採年代に約 100 年の差が認められ，少なくともその期間，本遺跡が継続していたことが考えられる。またその期間にも，数時期の伐採年代が推定され，遺構の時期差が何段階かあることが考えられる。

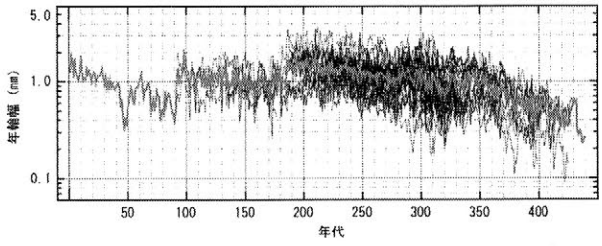


図1：クロスデーティングした試料の年輪曲線（細線）とその平均値（太線）．
最も古い年輪を1年目として示す．

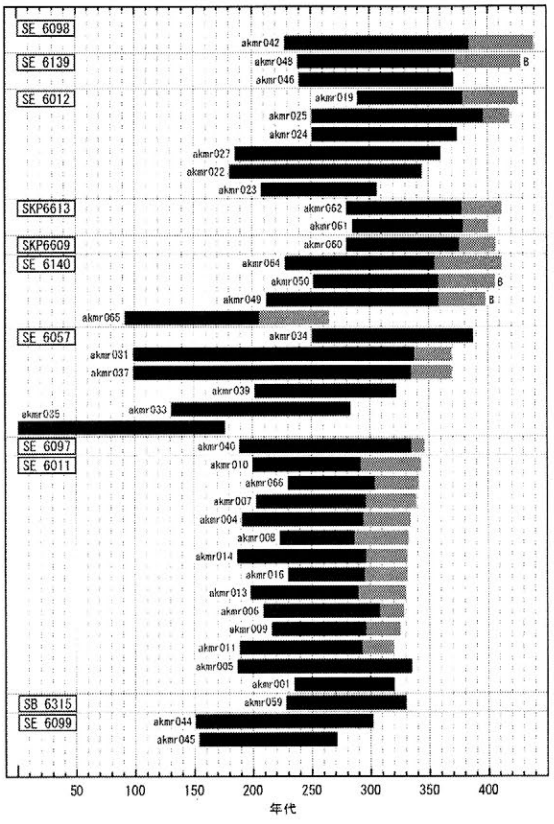


図2：各試料の年輪年代期間．最も古い年輪を1年目として示し，SB，SE，SKPの番号は遺構番号，灰色は辺材，Bは樹皮が残存していることを示す．

引用文献

Baillie, M. G. L. and Pilcher, J. R.: A simple cross-dating program for tree-ring research. Tree-Ring Bulletin, 33, 7-14, 1973.

Eckstein, D. and Bauch, J.: Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissebschaftliches Centralblatt, 88, 230-250, 1969.

AMS^{14}C 年代測定及びウイグルマッチングを用いた石川県真脇遺跡出土環状木柱列の高精度編年研究

○西本寛(名古屋大学大学院環境学研究科), 高田秀樹(能登町教育委員会), 木村勝彦(福島大学共生システム理工学類), 中村俊夫(名古屋大学年代測定総合研究センター)

はじめに

環状木柱列とは木材を円形に配した特殊構造物であり、能登半島を中心とする日本海沿岸域において検出例が報告されている。環状木柱列の年代については、共伴遺物の研究や環状木柱列構成木材の^{14}C 年代測定により縄文時代晩期に年代付けされている。特に、石川県能登町に所在する真脇遺跡から出土した環状木柱列(A・B・C・D・E・F 環)については、山田(1986)及び中村(2006)によりこれら木柱の最外部から得た年輪試料の^{14}C 年代測定が行われており、その較正年代は約 900-400calBC の範囲に広がることが示されている。さらに、A・B 環が最も古く、D・E・F 環が最も新しい時期に位置づけられるといった相対的な年代関係も提示された。しかし、ここで示した較正年代は精度的な問題を抱えており、特に D・E・F 環の年代は約 400 年の広がりを持つ結果となっている。そこで、真脇遺跡出土環状木柱列に関してウイグルマッチング解析を行い、同遺跡における環状木柱列の高精度編年の構築を目指した。

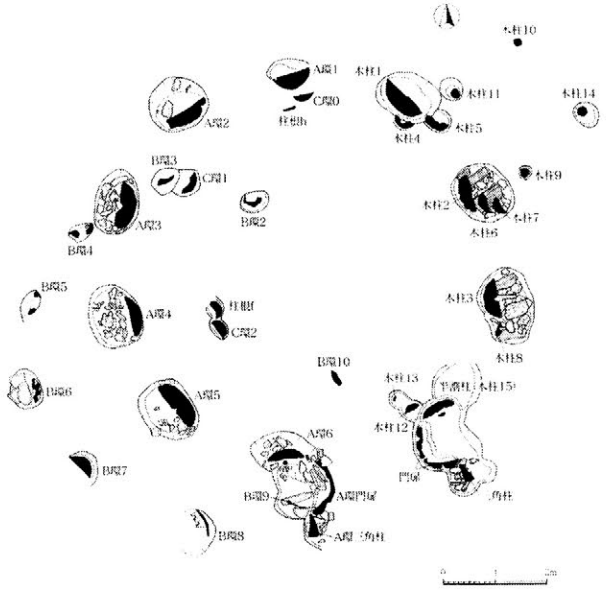


図 1: 真脇遺跡から出土した環状木柱列の平面図

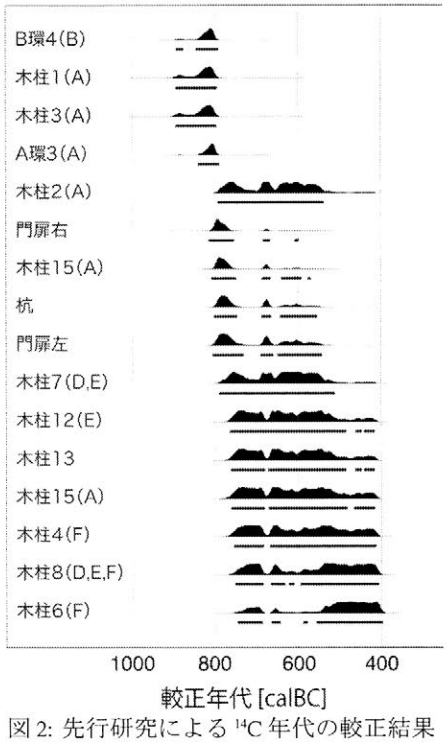


図 2: 先行研究による^{14}C 年代の較正結果

試料と実験

^{14}C 年代測定およびウイグルマッチングには、A 環、D・E 環、F 環構成材から 9 本の木柱を用いた。木柱からの年輪試料の採取は、電動丸鋸を用いて柾目面から年輪ブロックを切り出すことで行った。年輪ブロックについて年輪数の計測を行った後、得られた年輪データと照合しながら 1 年毎に年輪を分取し、

これらのうち数点の年輪を ^{14}C 年代測定に用いた。なお、今回用いた全ての木柱には樹皮は残存していなかった。

年輪試料の ^{14}C 年代測定は、名古屋大学に設置されている加速器質量分析計 (HVEE Model-4130) を用いて行った。得られた一連の ^{14}C 年代について較正曲線 IntCal04 とのフィッティングによりウイグルマッチングを行った。解析には、ベイズ統計によるウイグルマッチングを行うことのできる暦年較正プログラム OxCal4.1 を用いた。

結果と考察

ウイグルマッチングの結果を、図 3 に示した。各解析値の 95%の確立密度分布が示す範囲を図示している。A 環の木柱は今回の分析試料の中で最も高精度なウイグルマッチング結果を得ることができた試料であり、その結果は木柱 1 が約 820-790、木柱 2 が 790-770、木柱 3 が 950-840、そして木柱 15 は 820-790calBC となった。木柱 3 を除く 3 本の木柱の年代は 800calBC 付近に求められ、木柱 3 はそれよりも明らかに古い年代が得られた。D 環および E 環 に所属する木柱として、木柱 5・7・12 の測定を行った。このうち、木柱 5 と木柱 7 は D 環と E 環 の両者に属しており、木柱 12 は E 環にのみ属している。ウイグルマッチングの結果は、木柱 5 が約 670-640, 620-550calBC、木柱 7 は約 770-740, 680-660, 600calBC、木柱 12 は約 690-660, 650-540calBC となった。F 環構成材として、木柱 4 及び木柱 6 についてのウイグルマッチングを行った。その結果、木柱 4 は約 740-710calBC、木柱 6 は約 730-680, 640-610, 560-500calBC となった。

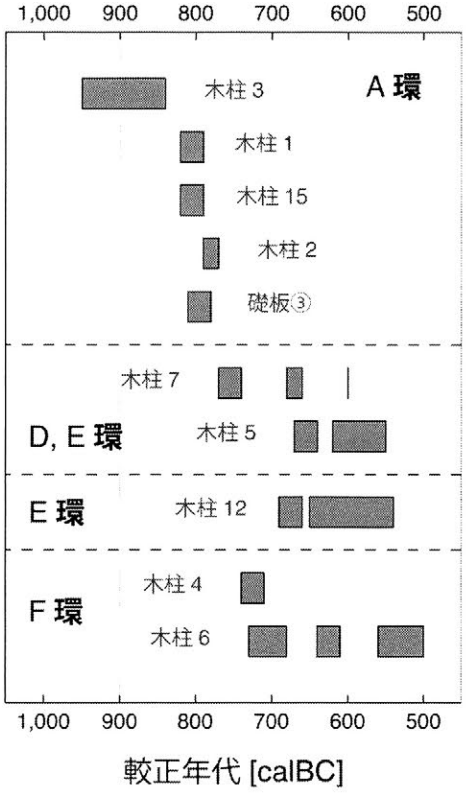


図 3: ウイグルマッチング結果一覧

これらの結果から、A・D・E・F 環の形成時期の推定を行った。まず、A 環の年代は、木柱 3 について他の木柱と比較して明らかに古い年代が得られたことから、木柱 3 を除外して他の 3 本の木柱の年代域から約 820-770calBC と見積もることができる。D・E 環については、木柱 12 の結果から E 環の年代は約 690-540calBC、D 環は本年代域に含まれるかまたは約 770-740calBC(木柱 7)に求められる可能性がある。F 環は木柱 6 の結果が広域にわたって得られているが、木柱 4 と木柱 6 が同じ F 環を構成しており、同一環構成材が同時期に伐採された木材を利用したとすれば木柱 4 の年代域と重ならない年代域を棄却することができる。よって、F 環の年代を約 740-680calBC と見積もることができる。

このような詳細な編年は、考古学的情報との整合性や他のイベントとの関連性を論じるうえで非常に重要な情報である。本発表では、他の遺跡において得られている年代値や、当該時期の土器型式との関連性についても報告を行う。

熱ルミネッセンス法による黄冶窯跡出土陶片の年代測定

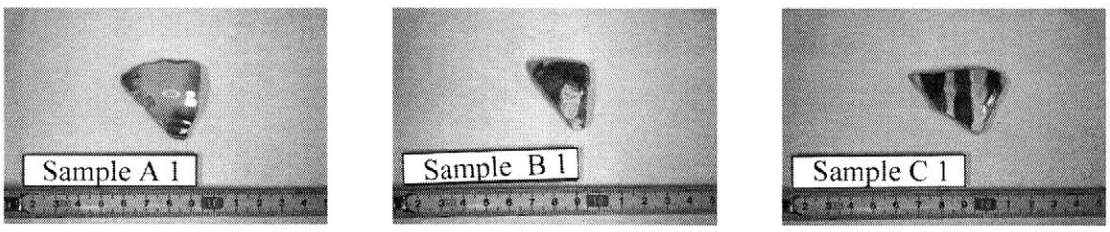
○青木智史(奈良教育大学), 出川哲朗(大阪市立東洋陶磁美術館), 長友恒人(奈良教育大学)

1. はじめに

熱ルミネッセンス(Thermoluminescence;TL)年代測定法は、1960 年代に始まった自然科学的年代測定法であり、これまで土器資料をはじめとして、陶磁器や窯・竈資料、焼土・焼石、火山灰などの被熱考古遺物の年代測定などに利用されてきた。欧米を中心に世界各国で考古遺物の数値年代評価に適用され、多くの重要な研究成果が得られている。本研究で分析対象とした黄冶唐三彩窯跡で唐三彩が焼成されていたのは、ほぼ 7 世紀後半から 8 世紀中葉の期間と考えられており、基本的に焼成年代は明らかである。従って、本研究の目的は焼成年代を明らかにすることが主ではなく、これら焼成年代が明らかな資料の年代を TL 法が高確度で評価し得るかどうかを検証することにある。現在、考古学分野では TL 法は比較的信頼性の高い年代測定法として認められているが、美術史、陶磁史の分野においては必ずしも充分な信頼を獲得できてはいない。そこで、考古学的、美術史的に年代が明らかな資料の年代測定を実施することにより、TL 法が陶磁史分野においても有効な年代測定法であることを実証することが重要である。また、唐三彩はその知名度とは裏腹に、黄冶窯跡を除くと、制作工程や焼成技術、生産状況などに関する情報は不足しており、未発見の焼成窯の問題を含め、未解明な点も多い。そして、唐三彩は 20 世紀初頭に発見されて以来、膨大な数の贋作が世に送り出されている種であり、その問題への対応は陶磁史研究にとって対象物が一次資料となり得るかどうかは重要な課題の一つとなっている。そのような問題の検討を行うとき、自然科学的な分析データの必要性は高く、とりわけ、もっとも基本的な情報をもたらしてくれる焼成窯出土遺物を測定対象とすることは非常に重要である。本研究は、唐三彩をはじめとする陶磁史研究を進めていく上で TL 法が果たしうる役割を模索する萌芽的研究の一つである。

2. 測定試料

今回、測定対象としたのは中国河南省鞏義市に位置する黄冶唐三彩窯跡の発掘調査によって出土した唐三彩陶片 9 資料である。これらのうち、Sample A 1～A 3 は GHⅡ区 A 層から、Sample B 1～B 2 は GHⅡ区 B 層から、Sample C 1～C 3 は GHⅡ区 C 層から出土した試料である。これらは、それぞれ異なった焼成年代であると考えられ、本研究では TL 法により区別することが可能かを検討する。



資料写真

3. 試料採取および試料処理

今回測定対象となった陶片はいずれも貴重な考古資料であり、試料採取量は最小限にとどめなくてはならない。このため、多くの試料採取を必要とする石英粗粒子法は適用できず、比較的少量の試料で測定可能な微粒子法を適用した。よって、微粒子法用の試料採取を行った。試料採取には超硬カッターを用いた。採取時に過剰な摩擦および圧力を加えないように注意しながら約 350～500 mg の粉末試料を採取した。採取後、標準篩にかけ、粒径 75 μm 以下の粉末試料を採取した。

粒径 75 μm 以下に粒度分けした試料を 10 %の過酸化水素水で 16 時間処理を行い、有機物の除去を行った。その後、アセトンと蒸留水を用いて洗浄した後乾燥させ、次いで 20 %の塩酸で 60 分間処理を行った。洗浄後、50℃の恒温槽で乾燥させた後、標準篩にかけて粒径 50 μm 以下の試料を測定試料とした。

4. 測定

・蓄積線量の評価

蓄積線量の測定には、奈良教育大学の DAYBREAK 社製の TL/OSL 自動測定装置-1150 TL SYSTEM-を使用した。用いた光学フィルタは Corning 7-59 および Schott BG-39 であり、検出波長域は 350-470nm である。蓄積線量の評価には、微粒子法による Multiple aliquot additive dose(MAAD)法を適用した。MAAD 法は、Natural 試料と任意の線量の放射線を照射した付加線量試料を測定し、生長曲線を作成して等価線量(Equivalence dose;ED)を評価する方法である。

・年間線量の評価

本研究では発掘現場での直接測定が不可能であったため、年間線量率の評価は間接測定法に基づいて行った。γ線スペクトル法を用いて放射性元素含有量を評価し、Adamiec らの換算式を用いて年間線量率を算出した。年間線量率のうちα線量率およびβ線量率は唐三彩陶片胎土から評価し、γ線量率は試料付着土壌を含む黄冶窯跡採取土壌 8 試料の平均値を採用した。宇宙線量率については日本と同程度と仮定して 0.15mGy/a を評価した。微粒子法では、年間α線量率、年間β線量率、年間γ線量率、年間宇宙線量率の和が総年間線量率である。また、α線効率は 10%とした。

5. 結果および考察

TL 年代値の評価結果は表 1 に示した。全試料の平均年代値は 1277±79 年前となり、黄冶唐三彩窯の考古学的な操業年代観とよく整合する。比較的確度の高い年代値が評価されたといえ、TL 法の実効性を示す結果といえるだろう。また、GHⅡ区A層、GHⅡ区B層、GHⅡ区C層の各グループの評価年代値が極めてまとまりよく得られていることは注目に値する。この 3 グループにおける平均年代値は、GHⅡ区A層が 1163±128 年前、GHⅡ区B層が 1420±151 年前、GHⅡ区C層が 1247±131 年前となり、これに従えば、GHⅡ区B層がもっとも古く、次いで GHⅡ区C層、そして GHⅡ区A層がもっとも若いと考えられる。今後、考古学的な成果と比較検討を行いたい。また、本研究で得られた TL 年代値は比較的信頼できるものと考えられるが、年代値の誤差要因として、年間線量の評価において試料直近の土壌が必ずしも充分に得られなかったことや、含水率の評価に一部仮定を含んでいることは留意すべき点である。また、α線効率の評価についても、慎重に検討する必要がある。今後、よりよい条件で測定を実施し、本研究成果の検討を行いたいと考えている。

表 1：黄冶窯跡出土陶片の年代測定結果

Sample No	出土層	蓄積線量 (Gy)	年間線量率 (mGy/a)	TL 年代 (before 2009)
Sample A 1	GHⅡ区A	9.98±1.06	8.59±0.64	1160±150
Sample A 2	GHⅡ区A	9.73±1.80	8.26±0.69	1180±240
Sample A 3	GHⅡ区A	9.79±2.06	8.54±0.74	1150±260
Sample B 1	GHⅡ区B	11.20±1.28	7.94±0.68	1410±200
Sample B 2	GHⅡ区B	11.54±2.47	7.99±0.65	1450±330
Sample B 3	GHⅡ区B	10.25±1.55	7.30±0.61	1400±240
Sample C 1	GHⅡ区C	9.54±1.71	7.74±0.67	1230±250
Sample C 2	GHⅡ区C	10.49±1.08	8.17±0.69	1280±170
Sample C 3	GHⅡ区C	10.05±1.86	8.19±0.70	1230±250

謝辞

本研究で測定対象とした黄冶窯出土唐三彩片は中国河南省文物考古研究所から提供を受けたものである。同研究所の孫新民所長，郭木森研究員，両先生に感謝の意を表したい。

日本年輪年代学研究史話

—アリゾナ大学年輪研究所に保管されている故渡辺直経氏収集の木曽ヒノキ資料をめぐって—

○大河内隆之（独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所）

【はじめに】

日本における文化財の年代測定法としての年輪年代学研究は、奈良国立文化財研究所（現・独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所）によって 1980 年から精力的に進められ、1985 年に本格的な実用化の域に達したものと、一般的には認知されている。しかし、それ以前あるいは同時期にも、数多くの研究者らによって同様の研究が試みられてきた。筆者は、故渡辺直経氏（以下敬称略）の収集した試料を再調査する機会に恵まれたため、彼の年輪年代学研究への取組みについて紹介するとともに、その意義について考えてみたい。

【研究対象およびその背景】

年代学について広く関心を持っていた渡辺は、1960 年、年輪年代学研究における世界的な拠点のひとつであるアメリカのアリゾナ州ツーソンにあるアリゾナ大学年輪研究所を訪れ、アメリカ南西部における年輪年代学研究の成果や同研究所の研究方法、装置などを見聞し、年輪年代学に対する興味をさらに深めることになった。1962 年、渡辺は、長野営林局上松営林署（現・中部森林管理局木曽森林管理署）に依頼して、採取地等を明らかにしたヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）の円盤を管内各所から収集してもらい、農林水産省林業試験場（現・独立行政法人森林総合研究所）の加納孟技官の協力を得て年輪幅を測定し、年輪パターンの変動曲線の検討をおこなった。その結果、同じ谷筋の変動曲線のパターンは似ているものの、谷筋が異なったり距離が離れる場合には変動曲線のパターンがまったく異なることから、日本における年輪年代学の応用に対して懐疑的になった。さらに渡辺は、1963 年から翌年にかけて、アリゾナ大学客員研究員として古磁気学研究をおこなっていた際、これらの木曽ヒノキ円盤をアリゾナ大学へ輸送し、同大学年輪研究所で再度の検討を求めたが、パターンの類似性については否定的な見解であった。これをもって渡辺は、日本における年輪年代学研究を断念することになった（渡辺 1996）。

これらの渡辺の9枚の木曽ヒノキ円盤は、髄から樹皮方向へと至る2～4方向の角柱状に切り出され、現在でもアリゾナ大学年輪研究所に保管されている。試料数は、9個体・計 21 方向である。測定部位における年輪数は、246～301 層であり、地上高の低い円盤に特有の根張りの影響と思われる不整形な年輪のある試料が散見される。

【調査方法】

1）現代の標準的な年輪年代学的方法による場合

奈良文化財研究所で採用している標準的な方法は、年輪幅を 0.01mm 精度で計測し、5年移動平均法によるハイパスフィルタリングと対数変換を施した後、コンピュータで比較照合する時系列データ（暦年が確定し、十分な個体数から得られた時系列データをマスタークロノロジーと称する）との相関係数を逐次求めて t 検定し、所定の照合条件を満たす組み合わせにおいてグラフの変動変化の一致を確認するというものである（光谷ほか 1990）。この方法は、アイルランドの年輪年代研究者 M. G. L. Baillie らの発表した方法（Baillie and Pilcher 1973）に基づくものであるが、奈良文化財研究所では、重複年輪数 100 層以上・t 値5以上と照合成否の判定基準を厳しく定めている。また、試料がアリゾナ大学に保管されていることから、日本においての検討も容易におこなえるようにするため、フラットベッドスキャナを用いて 1600dpi の解像度でデジタル画像を取得し、筆者らの開発した年輪画像計測プログラムを用いて年輪幅を計測した。

2）スケルトンプロッティングによる場合

スケルトンプロッティングは、20 世紀初頭からアメリカ南西部の年輪年代学研究で広く用いられている方法であり、1960 年代も、また現代でも、年輪考古学分野では主流を占めている。この方法では、方眼紙のテープの上に、横軸目盛を1年、縦軸を年輪データとして記録するが、年輪幅が前層や周囲に比べて狭いものほど長い棒グラフで表すのが特徴である。測定試料の情報が記録された方眼紙テープを、暦年の確定している方眼紙テープ上でずらしながら両者の棒グラフを照合し、最も一致する箇所を探し出して年輪年代を求める（Stokes and Smiley 1968）。

【結果】

1）・2）の両方法ともに、名古屋営林支局付知営林署（現・中部森林管理局東濃森林管理署）管内で収集した木曽ヒノキ試料 20 個体をもとに作成した暦年代の確定している年輪幅のマスタークロノロジーと比較照合した。収集地は、上松営林署管内から約 25km 以内の範囲である。

1）の方法では、9個体・計 21 方向中7個体・16 方向において年輪年代を求めることができた。得られた年輪年代は、1959 年のものが5個体・12 方向、1961 年のものが2個体・4方向であった（図1）。いずれの試料も晩材が形成されていることから、当該年の秋から翌年早春にかけて伐採された（もしくは倒木・枯死した）ことになる。

2）の方法では、照合成否の判定に測定者の主観の入る余地があるので、成功率としては参考情報に留めたいが、少なくとも6個体・11 方向において年輪年代を求めることができた。いずれも、1）の方向で得られた年輪年代に一致する（図2）。これにより、1960 年代の技術水準による方法であっても、日本においての年輪年代学的な検討は、十分に可能であったことが示された。

【考察】

1962 年に試料収集をおこなったにもかかわらず、前年の 1961 年以外にも 1959 年の試料が混ざった背景には、当時の木曽ヒノキ特有の事情が存在する。1959 年9月 26 日の伊勢湾台風により、大量(長野営林局統計資料によると、当該年度木曽谷全体で 15 万㎥)の風倒被害が発生した。さらに 1961 年9月 16 日の第二室戸台風でも被害を生じた(長野営林局統計資料によると、当該年度木曽谷全体で8万㎥)。これら倒木を山から集材している最中に、渡辺は試料収集をおこなったことになる。年輪年代学研究の初期段階では、伐採年が明確で揃った試料を基にするのが望ましいが、はからずも2年にわたってずれた試料を起点にしてしまった。また、長期の年代情報を得ようとすると、地上高の低い根元付近から試料収集しがちであるが、こうした部位は不整形な年輪を生じやすく、年輪年代学的試料としては適さない場合が多い(光谷ほか 1990)。1)の方法で年輪年代の得られなかった試料にも、この傾向が見られる。くわえて、一般的に日本のヒノキは、アメリカ南西部で主な研究対象とされているダグラスファー(*Pseudotsuga menziesii*)やポンデローサパイン(*Pinus ponderosa*)等と比べ、年輪幅の広狭の変化にやや乏しい。これらの条件が重なり、年輪パターンの類似性を見出すのに困難な方向に作用した可能性は、十分に考えられる。

さらに、年輪パターンに対する渡辺の認識に関して、彼の論文(渡辺 1996)中の図によると、長中周期の変動変化を重視していたことが読み取れる。このような長中周期の変動成分は、年輪気候学的な分析においては重要な情報になるが、年輪年代学の基本であるパターンマッチングの段階においては、むしろ除去して短周期の成分のみを用いて検討するのが定石とされている。スケルトンプロッティングも、この定石に基づいて、視覚的にわかりやすく、かつ簡便に実施できるように工夫された方法である。

前述のように、1960 年代の技術水準でも、日本のヒノキの年輪年代学的な基礎研究をなしうる可能性は十分にあった。しかし、年輪年代学を文化財の年代測定技術として恒久的に実践しようとすると、統計的な理論に基づく方法の開発、およびそれを実施するためのコンピュータ環境の充実が、いずれは必要になったであろう。その点では、年輪年代学の成熟において Baillie and Pilcher 1973 のような研究成果の出現を待たねばならなかったのは、ある意味いたしかたない。日本における年輪年代学研究は、文化財の年代測定への応用に関する限り、渡辺の試行以後約十数年間の空白期を迎えることになった。しかし、もし 1963 年の時点で渡辺が、日本における年輪年代学の研究を完全に断念していなければ、その後の展開は現在とは違ったものになっていたかもしれない。

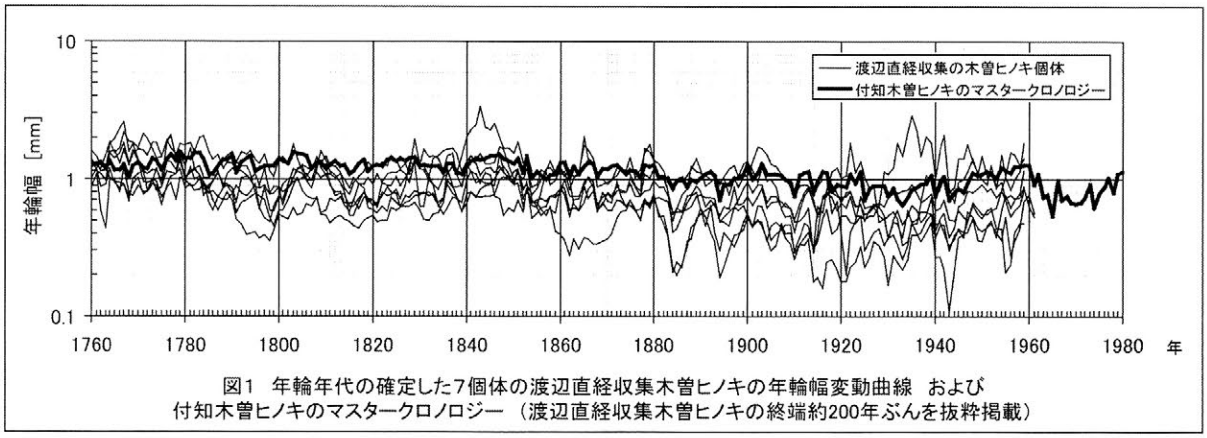


図1 年輪年代の確定した7個体の渡辺直経収集木曽ヒノキの年輪幅変動曲線 および
付知木曽ヒノキのマスタークロノロジー (渡辺直経収集木曽ヒノキの終端約200年ぶんを抜粋掲載)

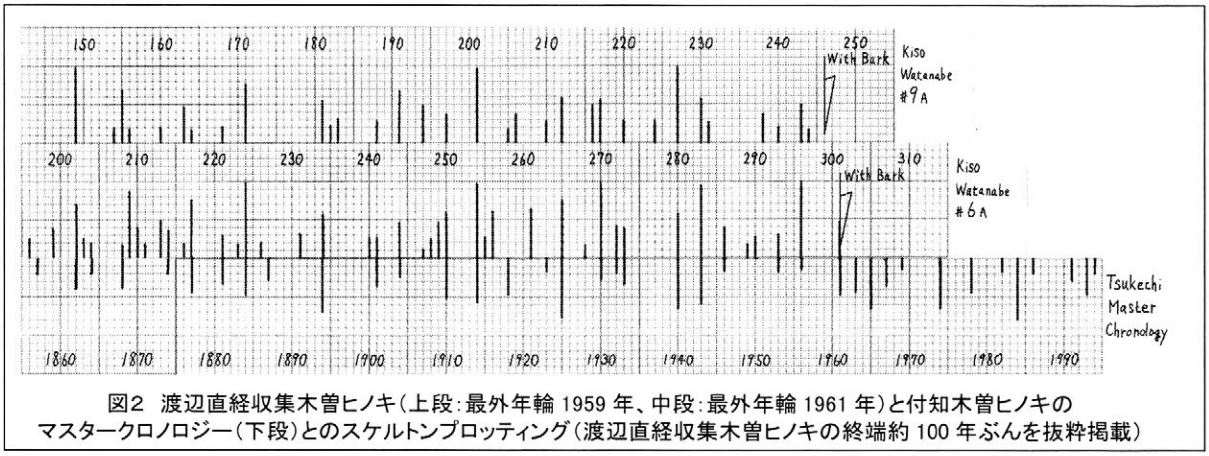


図2 渡辺直経収集木曽ヒノキ(上段:最外年輪 1959 年、中段:最外年輪 1961 年)と付知木曽ヒノキの
マスタークロノロジー(下段)とのスケルトンプロッティング(渡辺直経収集木曽ヒノキの終端約 100 年ぶんを抜粋掲載)

【参考文献】

渡辺直経 1996「年輪年代学とコンピュータ」『人文学と情報処理』第 11 号:92-96
光谷拓実ほか 1990『年輪に歴史を読む —日本における古年輪学の成立—』奈良国立文化財研究所編 同朋舎
Baillie, M. G. L. and Pilcher, J. R. 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-Ring Bulletin 33, 7-14.
Stokes, M. A. and Smiley, T. L. 1968. An Introduction to TREE-RING DATING. University of Chicago Press, Chicago.

較正解析プログラム OxCal の日本語化について

○大森 貴之（名古屋大学環境学研究科），西本 寛（名古屋大学環境学研究科），
中村 俊夫（名古屋大学年代測定総合研究センター）

はじめに

OxCal は，^{14}C 年代測定に関連する多くの分野で利用されている較正解析プログラムである。本ソフトは，^{14}C 年代を暦年代へ較正するだけではなく，ベイズ的アプローチを軸に較正年代幅の限定化，同時期グループの示す存続期間や境界年代の定量的な推定，較正年代の四則演算など，各測定試料の持つ情報に準じた年代解析を行うことができる（図 1）。最近では，湖底堆積物などを対象とした堆積モデルの作成（Ramsey 2008）や ^{14}C 年代測定の中で検出された異常値を判別するプログラム（Ramsey 2010）などが実装され，^{14}C 年代結果に対する議論考察を総合的に行える環境が整いつつある。

- ^{14}C 年代の較正
- 試料の特性や考古情報を用いた年代解析
- 芯材／辺材比から最外輪年代推定
- 熱ルミネッセンス年代測定結果の解析
- 年代値の相互参照
- 暦変換
- 較正年代の四則演算
- 境界年代，存続年代の推定
- 堆積モデルの作成
- 異常値分析
- ^{14}C データセットの比較
- 確率統計学の勉強支援機能

図 1　OxCal4.1 によって提供されている主な機能

しかし，OxCal の行う較正解析過程の数学的複雑さや，プログラム自体における自由度の高さから，利用者は高度な数学的理解とその操作を必要とされる。このような背景から，^{14}C 年代測定が盛んな我が国においても，すべての関連研究者が自由に年代較正や解析を行い，解析した年代を各自議論できる状況には至っていない。我々は，ベイズ的アプローチによる ^{14}C 年代較正解析をより普及させるため，OxCal4.1 の日本語化を行ってきた。本発表では，その概要報告を行い，日本語版 OxCal（OxCal.JP）を公開する。

日本語化について

OxCal プログラムは，データ入力部，解析部および解析データの出力部の 3 つのモジュールから構成されている（図 2）。OxCal.JP 初版では，OxCal4.1 に対して入力部と出力部の各環境（グラフィックユーザインターフェイス）および OxCal マニュアルを対象としてローカライズを行った。これらは，OxCal 利用者の PC 環境に依存しないように基本的には HTML および JavaScript で作成されており，内部コードを直接書き換えることで

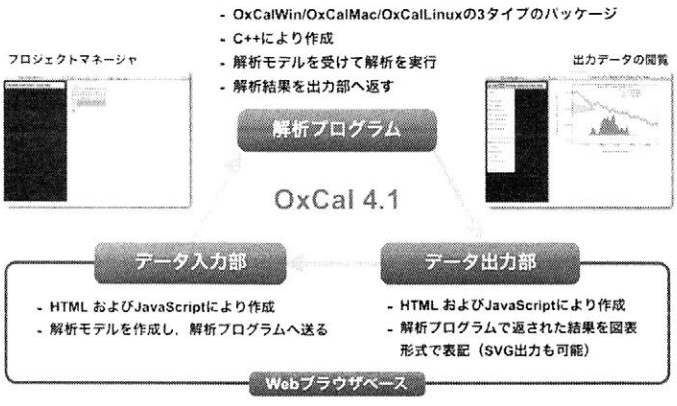


図 2　OxCal プログラムの構造.

ローカライズを行った。ただし，解析モデルの作成に必要となる年順配列問い合わせ言語(Chronological Query Language: CQL2)については，現状 OxCal との互換を考慮して変更していない。

本プログラムは，日本語版オンラインヘルプと共に OxCal.JP を，日本 OxCal グループのホームページ（ http://sites.google.com/site/oxcaljp/）にて公開している。

図 3 OxCal.JP の外観

おわりに

近年の測定技術向上から，^{14}C 年代は非常に高精度で安定した結果が得られるようになってきた。しかし，年代較正過程の原理的な制約から，小さな誤差の ^{14}C 年代値に対する較正年代も較正曲線に依存してある一定の年代幅を持ってしまう。今後さらなる年代値の正確度を求めるには，多くの考古学あるいは歴史学的な情報を較正年代に取り込んだ学際的統計解析が必要になってくると考えられる。本プログラムを通して，年代推定に対するベイズ的アプローチがより一般化することを望む。

謝辞：日本語版 OxCal を作成するにあたり， OxCal 大学 C. Bronk Ramsey 教授よりご助言とご協力を得ました。ここにお礼申し上げます。また本活動は，平成 21-22 年度学術振興会からの特別研究員奨励費を受けて進めている研究活動の一環で行われている。

参考文献

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.
Bronk Ramsey, C. (2009). Dealing with outliers and offsets in radiocarbon dating. Radiocarbon, 51(3), 1023-1045.
Bronk Ramsey, C. (2008). Deposition models for chronological records. Quaternary Science Reviews, 27(1-2), 42-60.
Bronk Ramsey, C. (2010) OxCal 4.1, http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=oxcal.html.

重要文化財三木家住宅の放射性炭素年代調査について

○中尾七重（武蔵大学総合研究所），坂本稔，今村峯雄（国立歴史民俗博物館）

1. 重要文化財三木家住宅について

徳島県屈指の古民家である重要文化財三木家住宅（徳島県美馬市木屋平貢）の位置する木屋平三ツ木は古くより朝廷領で、阿波忌部氏子孫の三木氏は践祚大嘗祭に麁服(あらたえ：麻の着物)の貢進を務め、中世には山岳武士の頭領として大きな勢力を有した。江戸期蜂須賀藩時代には貢村の庄屋で、延享四（1744）年に庄屋役を召放されるも、18 世紀末には格別の旧家として苗字と夫役免除を許されている[1]。

屋敷地は三木山頂付近の尾根に開かれている。主屋は間口 8 間奥行 4 間半の大規模な住宅で、1976 年に国指定重要文化財に指定された。三木家の建築年代については、腐朽した棟札を納めた旨箱書きされた寛政七（1795）年の木箱に、腐朽し判読不能の棟札が納められており、当初建築が寛政七年を遡ることが推測される。建築年代が古いにもかかわらず保存状態が良好で現在も三木氏が居住・維持管理しておられる。これまで文化財保存修理工事に伴う解体調査が行われておらず、緊急調査報告[2]および現状での痕跡調査から以下の知見を得た。民家形式は柱が 17 センチ角と太くチョウナ仕上げであること、大黒柱などの特に太い柱を用いることなく全体が太い柱で揃っていること、叉首に棟束を併用した小屋組等、江戸前期の特徴を示しており、当初の建築が 17 世紀中ごろまで遡る可能性がある。しかし建築年代が古いと推定されるにもかかわらず柱間に窓や出入口などの開口部が多く壁が少ないこと、一部に差鴨居を用いていること等の構造的に新しい要素を持つ。これについては、当家は一般の近世民家とは異なる中世以来の在地上層住居の形態を伝えるゆえに先進的な技法が用いられていると解釈されている。

2. 重文三木家住宅の平面形式

三木家住宅の部材に残る痕跡をもとに復原すると、チョウバ下手の東側土間は当初床張で、その下手の西側土間は当初よりの土間であった。すなわち当家は床上 8 室の整形間取となる。これは「横二間取」と「中ねま三間取」が分布する徳島県山間部では類例の無い形式である[3]。横二間取は土間と床上 2 室が横 1 列に並ぶ間取で、中ねま三間取は中央室が表室と寝室の裏室に分かれる間取である。この山間部民家や吉野川流域の平地部の四間取民家など、徳島県下の江戸前期の民家はいずれも上手表側に 2 間半あるいは 2 間四方の正方形平面の座敷を持つことが特徴である。これに対し三木家住宅の座敷はオモテ・サキオモテ・テングノマと続く鉤座敷で、テングノマには床や平書院など書院座敷の設えが復原される。棟下通りに柱が並ぶ配置も横二間取や中ねま三間取とは異なり、民家の成り立ちが別系統と思われる。そのため、徳島県山間部の民家編年に乗せることができない。

3. 放射性炭素年代調査

建築年代が不明で、編年での年代推定が困難であり、四国民家研究に重要な遺構である重要文化財三木家住宅主屋の柱材 5 点について炭素 14 年代測定調査を行った[4]。2005 年 8 月に三木家住宅の調査および年代測定試料採取を行った[5]。推定当初柱材 5 部材を選択し、柱立ちの状態で床下部分より写真撮影記録および 10 年ごとの年輪単層採取を行った。保存修理工事が行われておらず試料は汚染の程度が小さいと考えられたので、標準的な前処理とした。試料の前処理は国立歴史民俗博物館およびパレオ・ラボ社が行い、測定試料作成と炭素 14 年代測定をパレオ・ラボ社に委託した。得られた試料について炭素 14 濃度の測定を行い、うち 4 本については、単年輪試料のため Stuiver による 1 年ごとの炭素 14 測定データを用いてウィグルマッチ法で解析し最外層年輪の年代を求めた。

「ろ 2」柱（三木①）は 1633～1660 年、「ろ 3」柱（三木②）は 1600～1631 年、「ろ 4」柱（三木④）は 1599～1630 年、「に 3」柱（三木⑤）は 1615～1643 年、「に 5」（三木⑧）柱は 1642～1654 年と得られた。測定した柱材はいずれも辺材部が確認できなかった。測定した柱は 17 世紀前半から半ばにかけての年代となり、製材時除去分を加算すると 17 世紀中頃～後半に伐採された用材と考えられる。

3　考察

重要文化財三木家住宅の柱材5点について放射性炭素年代測定・解析を行った結果、ナカノオモテ正面側の柱材2点は17世紀前期、サキオモテ正面中央の柱とサキオモテ・テングノマ下手境の内部柱およびナカノオモテ・オク下手境の内部柱は17世紀中期～後半に伐採された材と推定される。これらが同時期の柱ならば、下限の年代を示す「に5」柱より、三木家住宅は17世紀中期から後半の時期に建設されたと考えられる。三木家住宅主屋は昭和48年の徳島県民家緊急調査において江戸前期、17世紀中頃の建築と推定されたが、部材年代測定による建築年代推定は17世紀中～後期となり、やや合致する結果となった。

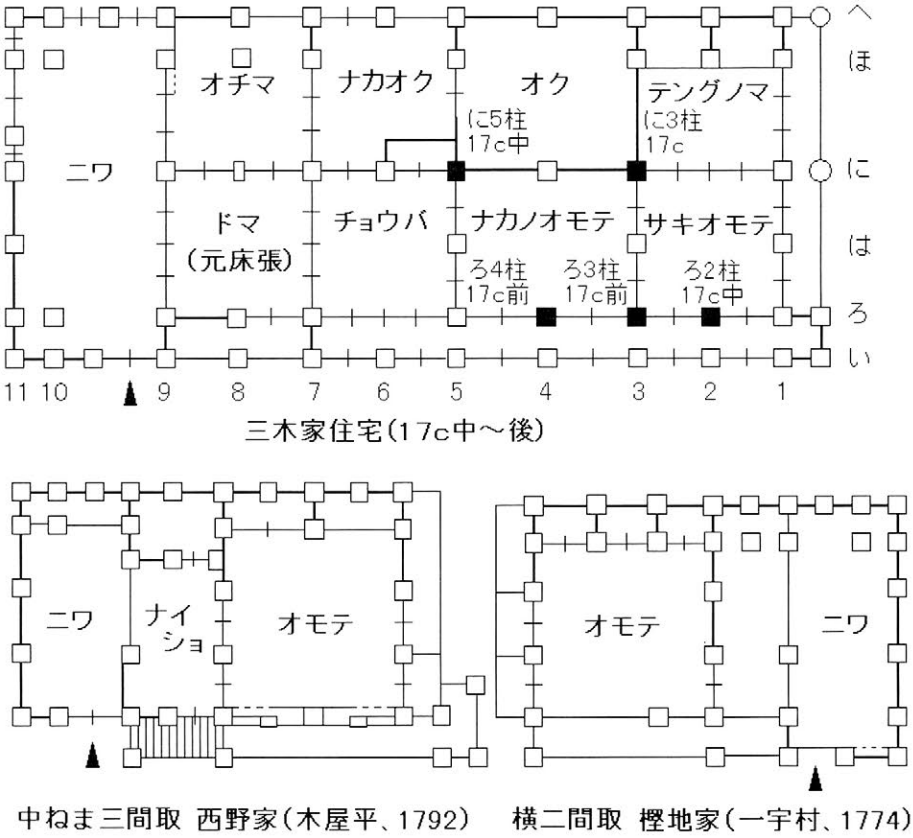


図1　上：三木家住宅測定部材位置図　　下左：中ねま三間取　　下右：横二間取

謝辞

ご協力頂いた三木家当主三木信夫氏、阿波のまちなみ研究会喜多順三氏、東京芸術大学日塔和彦教授、高精度炭素14測定にご協力頂いたパレオ・ラボ測定スタッフの方々に感謝いたします。

---

1 美馬市旧木屋平における文書調査、地方史班（徳島地方史研究会）、阿波学会紀要　第54号、pp。159-170、2008.7

2 阿波の民家—徳島県民家緊急調査研究報告—、徳島県教育委員会、1976.3

3 重要文化財粟生原家住宅（徳島県名西郡上山町、1710年）は整形6室間取の民家遺構である。

4 国立歴史民俗博物館基盤研究「歴史・考古資料研究における高精度年代論」（坂本稔）、「歴史資料研究における年代測定の活用法に関する総合的研究」（今村・坂本）、科学研究費補助金基盤研究18300306「中近世建築遺構の放射性炭素を用いた年代判定」（中尾）

5 福武学術文化振興財団平成16年度研究助成「AMS分析による成立期近世民家の年代判定」（中尾七重）、調査は中尾、榎本悟・足立俊輔（千葉大学大学院生、当時）。

限外ろ過調製法は化石骨の ^{14}C 年代測定において有効か

山崎香奈(名古屋大学理学部地球惑星科学科),
○南 雅代(名古屋大学年代測定総合研究センター), 大森貴之(名古屋大学大学院環境学研究科), 中村俊夫(名古屋大学年代測定総合研究センター)

はじめに

骨の ^{14}C 年代測定においては、化学的風化作用に比較的安定な硬タンパク質のゼラチンを骨から抽出し、測定に用いることが一般的である。しかし、骨の保存状態や年代によっては、ゼラチン抽出を行なっても、骨が土壌に埋没している間に混入した腐植酸などの外来有機物を全て除去することが難しい場合があり、年代値をずらしかねないという問題があった。一方、限外ろ過調製法は、骨ゼラチンをさらに分子量でふるい分け、低分子量の分解を受けたゼラチンや外来有機物を除去し、分解を受けていない高分子量ゼラチンのみを分離抽出する調製法であり、骨のより正確な ^{14}C 年代を得るのに有効な調製法として、最近広まりつつある。本研究では、可溶性コラーゲン、限外ろ過を行なう前の骨ゼラチン、限外ろ過を行なった後の高分子量ゼラチン、低分子量成分の ^{14}C 年代値、$\delta^{13}C$ 値、$\delta^{15}N$ 値、C/N 比を比較し、限外ろ過調製法が、化石骨の ^{14}C 年代測定に有効かどうかの検討を行った。

実験方法

今回使用した骨試料は、第 5 回放射性炭素国際比較(The Fifth International Radiocarbon Inter-comparison: VIRI)の骨試料(VIRI-E, -F, -G, -I)である。試料はいずれもゼラチン含量が高く、比較的保存状態のよい骨である。試料は蒸留水中で繰り返し超音波洗浄し、さらに 0.2M NaOH 中で超音波洗浄したあと凍結乾燥してステンレス乳鉢で粉砕した。脱灰は以下の 2 種類の方法(脱灰 A, B)によって行なった。

脱灰 A: 骨粉末をセルロースチューブに封入し 0.1M の塩酸の入ったビーカーに入れて脱灰を行なった。脱灰終了後、ビーカー内の塩酸を蒸留水にかえて透析を行い、セルロースチューブの内容物を遠心分離し、酸可溶成分(SC)と酸不溶成分をそれぞれ凍結乾燥した。

脱灰 B: 遠沈管に骨粉末と 0.6M の塩酸を入れて脱灰を行なった。脱灰終了後は遠沈管の内容物を遠心分離し、酸不溶成分を凍結乾燥した。

脱灰 A、B それぞれの酸不溶成分に蒸留水を加えて 90℃で一晩ゼラチン抽出を行い、遠心分離してその上澄み凍結乾燥し、ゼラチン(Gelatin)を得た。

その後、抽出したゼラチンの一部に対して、限外ろ過を行なった。限外ろ過に用いる遠沈管(Vivaspin™6, 30kD MWCO)の洗浄と限外ろ過の方法は、主として Ramsey et al.(2004)の方法に基づいた。限外ろ過後、その上澄み液(高分子量ゼラチン: HMW-G)と下液(低分子量成分: LMW)をそれぞれ凍結乾燥した。

各成分を酸化銅、還元銅、銀線とともに石英管に真空封管して 850℃で加熱し、真空ラインを用いて生じた気体を N_2 と CO_2 に精製した。N_2 の精製は、線状モレキュラシーブに吸着させる方法で行った。CO_2 については、^{14}C 年代測定用と安定同位体比測定用に 2 分割した。^{14}C 年代測定用の CO_2 は、鉄触媒を用いて水素還元してグラファイトに変え、名古屋大学年代測定総合研究センターに設置されているタンデトロン加速器質量分析計(High Voltage Engineering Europe Model 4130-AMS)により ^{14}C 年代測定を行った。$\delta^{13}C$ 値、$\delta^{15}N$ 値は安定同位体比用質量分析計(Finnigan MAT-252)により測定した。また、一部の成分については、炭素および窒素含有率を元素分析計(CE Instruments NC2500)により測定した。

結　果

VIRI-E, -F, -G, -I の ^{14}C 結果を図1に示す。図中の点線は、VIRI に参加した研究機関が出した ^{14}C 年代測定データの中央値である。VIRI の中央値と、限外ろ過前のゼラチン、および高分子量ゼラチンの ^{14}C 年代値は、誤差範囲内でおおよそ一致している。高分子量ゼラチンの ^{14}C 年代値は、ろ過前のゼラチンよりも比較的再現性の良い年代値が得られ、限外ろ過することでゼラチン中に含まれる異なる年代値をもつ外来有機物や分解したゼラチン成分が除去されてゼラチンが純化されたと考えられる。分解した成分と考えられる酸可溶コラーゲンの ^{14}C 年代値、$\delta^{13}C$ 値、$\delta^{15}N$ 値はゼラチンと変わりはなく、使用した骨試料の保存状態の良さを示している。一方、低分子量成分はゼラチンとは異なる年代値を示す傾向が見られ、$\delta^{13}C$ 値が明らかに低いことから、ゼラチンとは起源の異なる腐植酸等を含んでいる可能性が示唆される。

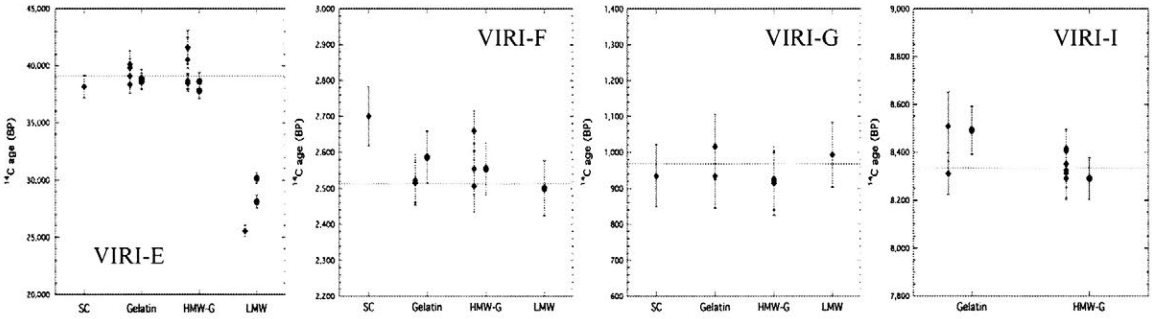


図 1　VIRI-E, F, G, I の成分毎の ^{14}C 年代値。誤差は 2 σ 。
1) ◆:0.1M-HCl による脱灰成分、●:0.6M-HCl による脱灰成分
2) SC:セルロースチューブ内で脱灰後の酸可溶コラーゲン 、Gelatin:限外ろ過前のゼラチン
HMW-G:限外ろ過後の高分子量ゼラチン、LMW:限外ろ過後の低分子量成分

考　察

0.1M-HCl で脱灰した成分をゼラチン抽出し、限外ろ過した場合は、0.6M-HCl で脱灰した成分よりも、概してろ過速度が遅く、ろ過に時間を要し、高分子量ゼラチンでの ^{14}C 年代値のばらつきが目立った。この原因として、0.1M-HCl で脱灰した成分は、脱灰が不十分でコラーゲン以外の成分を含んでいる可能性が考えられる。ろ過速度の遅い試料はフィルターの目詰まりによってろ過が十分になされていなかったり、長時間のろ過によるフィルターからの汚染も考えられる。したがって、脱灰時の塩酸濃度は、限外ろ過をする際の重要な因子と考えられる。フィルターの種類（製品 Lot. の違いを含めて）によっては、限外ろ過に用いる遠沈管からの汚染も報告されており、今後、脱灰時の塩酸濃度、一度に限外ろ過するゼラチン量等の検討も含めた限外ろ過条件の詳細な検討が必要である。0.6M 程度の塩酸で脱灰を行うと、試料が溶けてなくなってしまうような骨試料において、もし、今回のように、0.1M 程度の低濃度の塩酸で脱灰した後、限外ろ過を施すことで、効果的にゼラチンを回収でき、正確な ^{14}C 年代値が得られるのであれば、限外ろ過法は、非常に有効であるといえる。

本研究では、比較的保存状態の良い骨試料を用いたため、ゼラチンと高分子量ゼラチンの ^{14}C 年代値や $\delta^{13}C$ 値、$\delta^{15}N$ 値に有意な差は認められなかった。しかし、数万年という年代の骨においては、高分子量ゼラチンのほうが古い（より信頼性の高い？）年代が得られるという報告がすでになされており、我々も引き続いて、保存状態が悪く、汚染の進んだ骨試料を用いて同様に検討を行い、限外ろ過の有効性を検討して行く予定である。

クッキー状炭化物の由来解明とその年代

○國木田大（東京大学大学院 人文社会系研究科 附属北海文化研究常呂実習施設），
吉田邦夫（東京大学 総合研究博物館）

1．はじめに

本研究は、縄文時代のクッキー状・パン状炭化物の由来解明を目指すものである。クッキー状・パン状炭化物は、現在32遺跡から約210点の報告例が存在する（中村2007）。現状では西日本からの出土例はなく、東日本でも中部地方に多い。曽利遺跡や伴野原遺跡の事例では走査型電子顕微鏡により、シソ属が同定されているが（松谷1988）、内容物が解明された事例は少ない。特に緻密な構造を有する資料は、形態分析が困難であると指摘されており、新たな自然科学分析法の開発が必要となっている。

そこで筆者らは、骨コラーゲンや土器付着炭化物に応用されている炭素・窒素安定同位体分析を行うことにより、由来解明を試みた。また、CTスキャンを用いて構造を分析し、構造・製作方法についても考察を行った。本研究では、この他に、土器付着炭化物の炭素・窒素同位体分析、^{14}C年代測定についてもあわせて検討した。

2．分析資料および方法

分析資料は、押出遺跡（山形県東置賜郡高畠町）、渡戸遺跡（山形県天童市）、川口遺跡（山形県村山市）、沖ノ原遺跡（新潟県中魚沼郡津南町）出土のクッキー状・パン状炭化物である。押出遺跡出土のクッキー状炭化物に関しては、これまで電子顕微鏡観察による形態分析、脂肪酸分析による成分分析が実施されてきた。脂肪酸分析の結果では、クリ・クルミの粉にシカ・イノシシなどの骨髄や血液を混ぜ、発酵させたものであることが報告され、木の実を主体とした「クッキー型」と動物資源を主体にした「ハンバーグ型」とに分類されている（中野1998）。ただし、脂肪酸分析に関しては、問題点が指摘されており、再検討が重要な課題となっている。

クッキー状・パン状炭化物の他に、比較資料として、押出遺跡（大木4式）、吹浦遺跡（大木6式類似）、川内袋遺跡（大木4・6式）出土の内面土器付着炭化物の分析も行った。試料の分析には、東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室に設置されたIsoPrimeEA安定同位体比質量分析装置を用いた。

3．クッキー状炭化物の由来

測定結果を図1と図2に示す。各生物領域の分布は、吉田（2009）を引用している。押出遺跡および沖ノ原遺跡のクッキー状炭化物は、図1においてC_3植物の領域、図2においてもC_3堅果類などの領域に入ることから、その内容物は堅果類のデンプンを主成分としていると考えられる。ただし、図2では、C/N比が25～30付近と、40前後の2グループに分布しており、前者は堅果類の分布域をややこえる。そのため、動物資源の影響の存在を完全に否定することは難しい。また、押出遺跡のクッキー状炭化物（No.8）では、4ヶ所の部分の比較を行った。その結果は、非常に近い値を示し、均質な内容物に由来している可能性が高いことが分かった。化学処理前後の変化もこの範囲内であることから、バインダーによる保存処理や土壌からの続成作用の影響は小さかったものと推定される。押出遺跡のクッキー状炭化物の年代値は、5040BPであった。渡戸遺跡、川口遺跡の資料は、アセトン処理で呈色したことや、デッドカーボンに近い年代を示したことから、アスファルトである可能性が高い。

4．CTスキャンによる構造・製作方法の検討

東京大学総合研究博物館に設置してあるマイクロフォーカスX線CT装置を用いて連続断面画像を作成し、それらをもとに画像解析ソフトを利用して三次元形状を再現した（図3）。また、画像処理を行い、上面からの内部空隙を表示した（図4）。図4の画像では、内部空隙が輪状に確認されたため、紐状に成形したものを環状に巻いて製作されたものであると考えられる。また、図5の縦断面から分かるように、空隙が文様部まで連続しているため、表面に施された文様は、下の素地を捻りあげることにより成形した可能性が高い。

５．土器付着物炭化物との比較

土器付着物は、押出遺跡、吹浦遺跡ともに、C_3植物の上端領域から海洋資源に向かって直線的に分布する傾向を示した（図1）。川内袋遺跡の資料は、押出遺跡や吹浦遺跡より、やや海洋資源に近い傾向を示した。図2では、3遺跡全てでC/N比が10前後の窒素含有率が高い領域に分布しており、動物資源の影響が大きいと考えられる。このような分布傾向は火炎型土器の先行研究（吉田2009）の結果と非常に類似している。付着物の^{14}C年代値は、押出遺跡（5700～5070BP）、吹浦遺跡（5470～4775BP）、川内袋遺跡（5490～5170BP）という結果が得られ、押出と吹浦遺跡では、$\delta^{15}N$値が最も低い値が、若い年代値となっている。古い年代値は、海洋リザーバー効果の影響と判断し、サケ・マス類の遡上魚の影響があると考えた（國木田ほか2010）。

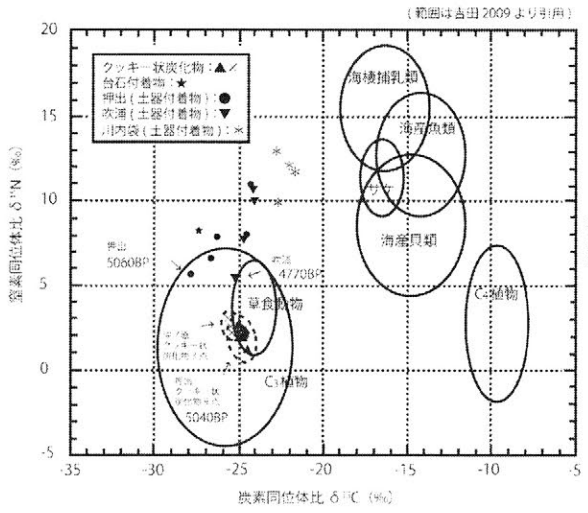


図1　測定試料の炭素・窒素同位体比

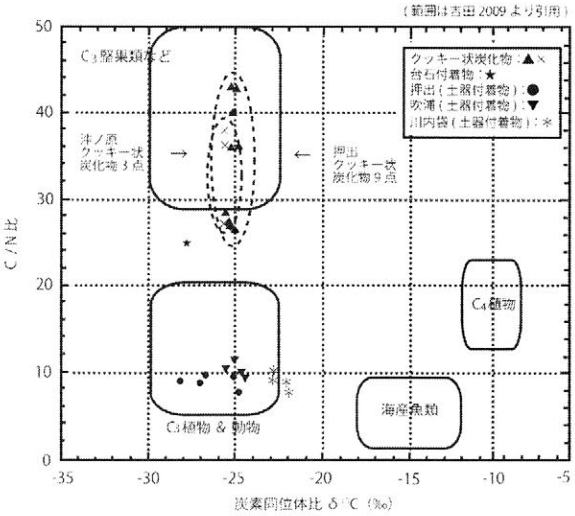
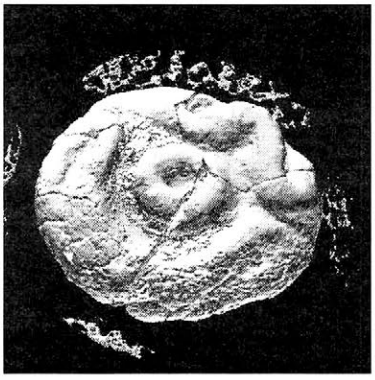
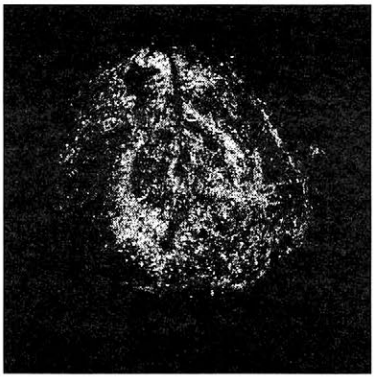


図2　測定試料の炭素同位体比とC/N比





（左）図3　押出遺跡クッキー状炭化物（No.7）のCT画像（3次元表面）
（右）図4　押出遺跡クッキー状炭化物（No.7）のCT画像（上面からの内部空隙）
（上）図5　押出遺跡クッキー状炭化物（No.7）のCT画像（縦断面）

【参考文献】

國木田大・吉田邦夫・辻誠一郎・福田正宏 2010 「押出遺跡のクッキー状炭化物と大木式土器の年代」『東北芸術工科大学東北文化研究センター研究紀要』第9号　東北芸術工科大学東北文化研究センター

中野益男 1998 「縄文のクッキーを脂肪酸で分析する」『季刊生命誌』21巻　JT生命誌研究館

中村耕作 2007 「クッキー状・パン状食品」『なりわい－食料生産の技術－』縄文時代の考古学5　同成社

松谷暁子 1988 「長野県縄文中期諸遺跡から出土したエゴマ・シソ」『長野県史』長野県

吉田邦夫 2009 「考古科学が探る火炎土器」『火焔土器の国　新潟』新潟日報事業社