

第28号

# 衣笠纖維研究所報告

2024

公益財団法人 衣笠纖維研究所

2025年3月発行

2024  
Annual Report of  
Kinugasa Research Foundation  
for Textile Science

Kitano Shimohakubai, Kita-ku,  
Kyoto 603-8326, Japan

# 目次

## 研究・技術開発事業

### 自主的研究

京都府下の蚕業遺産等の調査・研究<その2> (中丹地区)

廉屋 巧・吉田 武彦・・・ 1

近畿地方の織物に関する調査研究 西陣織2

末沢 伸夫・・・ 9

### 助成研究

カイコガオス側からみた生殖機構の解明とその応用技術開発

長岡 純治・・・ 15

## 教育支援事業

### 繊維科学の教育支援事業

京都市立正親小学校4年生の授業「総合的な学習の時間」への支援

井上 佳彦・末沢 伸夫・・・ 21

## 普及・振興事業

### 公開イベント

公開イベント報告

岡田 裕伸・・・ 24

## 2024(令和6)年度 衣笠繊維研究所理事および評議員の活動状況

学会等での講演、講義活動、各種会議、展示会等 ..... 26

中山 伸 理事 を偲ぶ

..... 29

## 自主的研究

### 京都府下の蚕業遺産等の調査・研究〈その2〉（中丹地区）

廉屋 巧・吉田 武彦

公益財団法人 衣笠繊維研究所 〒603-8326 京都市北区北野下白梅町 29 番地

#### 1. 研究の背景と目的

京都府下の蚕業遺産等の調査・研究は、前号(第 27 号)の丹後地区に続き、中丹地区について〈その2〉としてまとめた。

中丹地区には舞鶴市・綾部市・福知山市及び隣接する旧和知町（現京丹波町）を含めて調査を進めた。(図 1)

綾部市（旧何鹿郡）には、「東の片倉、西の郡是」と称される日本を代表する大製糸資本に成長した郡是製糸(株)（現グンゼ(株)）が、養蚕業・製糸業において果たしてきた実績が、各地での残されていることが分った。

また、蚕糸業には、桑樹、蚕種、養蚕、製糸、機織、真綿、仲買等、多くの分野の人々が関与している。さらに、用具・機械・設備等の発明・改良、そして、蚕糸業の発展・繁栄を願い、神仏への信仰を含め、日本の経済を支える主力輸出品となっていた生糸・絹織物等についての資料も遺され、蚕糸業に関係した遺産を多数見つけることができた。



図 1 調査研究対象地区

#### 2. 中丹地区の蚕糸業発展に関わる施設

京都府中丹地区には、明治時代以降の蚕糸業の発展に関わる施設が大変多くあった。

I. 蚕糸行政面・・・①農林水産省蚕糸試験場関西支場、②蚕業センター、③蚕業試験場、  
④繭検定所

II. 製糸関連事業所・・・①鐘ヶ淵紡績(株)、②神戸生糸(株)、③郡是製糸(株)、④コウベ蚕種(株)

III. 京都府下蚕糸業関連学校・・・

①京都工芸繊維大学繊維学部：京都蚕業講習所⇒京都高等蚕業学校⇒京都高等蚕糸学校  
⇒京都繊維専門学校⇒京都工芸繊維大学繊維学部（衣笠学舎）  
⇒京都工芸繊維大学繊維学部（松ヶ崎学舎）

②京都府立綾部高等学校：京都府蚕業講習所⇒城丹蚕業講習所⇒京都府立城丹蚕業、実  
業学校⇒京都府立綾部高等学校

③京都府立大江高等学校：加佐郡立河守蚕業学校⇒京都府立河守蚕業学校⇒農蚕学校⇒  
京都府立大江高等学校

### 3. 市町村別蚕業遺産

#### 3.1. 舞鶴市

江戸時代における農業は、米麦以外に4木といわれた茶・桑・漆・楮、3草といわれた麻・藍・紅花または綿など多種類のもものが栽培され、自給のみならず盛んに販売もされた。大川神社（加佐郡式内社）には、農蚕の守護神・豊受大神を祀っている。（図2）



図2 大川神社（舞鶴市）

明治政府は、多くの士族の家禄整理に踏み切ったが、丹後国住居の家禄を失った士族は大よそ3種類に転身していった。すなわち、

①商農業・教員（旧宮津藩士族）、②織工農桑業（旧峰山藩士族）そして、③農桑業（旧舞鶴藩士族）へと進出したものが多かったようだ。

士族への授産として、明治11年（1878）士族の有志者が発起人となり、舞鶴製糸会社（舞鶴製糸場）を設立した。一般の製糸業が旧態依然として家内工業で、手繰り生産を細々と進めていたのに対し、士族の子女を採用したので、就業態度がよく、技術の習得に積極的であり、良質の生糸を生産することができた。

この頃から養蚕と製糸とが分離する傾向がみられはじめた。すなわち、製糸家は繭を養蚕家から購入して加工する形をとったので、繭の流通を促した。製糸家は直接繭を買い入れる場合もあったが、多くは、仲買人の手を経て必要な繭を確保した。従って、相当の資本がなければ営業ができないこととなる。共同揚返所（製品の大量化、規格の標準化、商品名の標記に大きな役割を果たす）を設けた。加佐郡内には、舞鶴町に進栄社、河守町に開進社、有路上村に有進社が設けられていた。

明治後期から大正期にかけて、養蚕業は加佐郡においても大きく発達を遂げ、舞鶴近郊の農村経済が、「米と繭と海軍職員の三本柱で立つ」といわれた頃であった。農村の子弟が、河守町の加佐郡立養蚕学校（現大江高等学校）や、綾部の城丹蚕業講習所（のち城丹蚕業学校、現綾部高等学校）に学び、養蚕技術を修得したのもこのような背景があったからであり、この青年たちは、新しい科学的な養蚕技術の普及と改良に力を尽くし、生産向上に大きく役立った。

その後、明治29年（1896）、何鹿郡綾部町に郡是製糸<sup>いかるが</sup>株、大正2年（1913）綾部生糸<sup>いかるが</sup>株が設立され、大規模な工場生産方式による製糸工業が成立し、これによって、加佐郡は近代製糸業の原料供給地となっていった。大正7年（1918）、舞鶴製糸会社は郡是製糸<sup>いかるが</sup>株に吸収され郡是舞鶴工場となった。

わが国の蚕糸業は第一次世界大戦中から戦後の数年間、その黄金時代といわれる空前の繁栄期を迎えた。これは米国の経済界が大戦景気で著しい活況を呈し、国民の高級衣料品に対する購買力が上昇したことや絹織物が軍需品（落下傘等）として使用されたことなどから、生糸の消費量が累増して、糸価、そして繭価が騰貴したためであった。価格の低廉な人造絹糸製品が絹織物の領域に進出するようになったため、生糸の需要は激減し、糸価は暴落した。太平洋戦

争の勃発による米国市場の喪失がわが国養蚕史上の最盛期に終止符を打つことになった。

### 3.2. 綾部市

漢部<sup>あやべ</sup>は古代国家成立のあと、5世紀のはじめころ、朝鮮半島から渡来した漢民族が漢氏を与えられ、支配した部である。

古代において由良川の氾濫原には、自生の桑が繁茂して養蚕の適地であったと思われるから、漢部は綾絹の生産地であったのであろう。

寺院には養蚕守護の馬鳴菩薩<sup>めみょう</sup>が祀られ、綾部市・興隆寺(図3)、惣持院(図4)が養蚕信仰の対象とされてきた。

明治18年(1885)、東京上野で開かれた5品供進会で、京都府から出品された繭・生糸について、酷評を受けた。これは、桑は由良川沿岸や山間地の立木桑を用い、蚕種も品種が入り混じり、「三丹くだし」といわれて、滋賀県・長野県などから移入した質の悪いものであった。夏蚕が主で春蚕はあまり飼育されず、その方法も天然育に近い。また、繰糸は手挽きによる毎戸製糸が多かった。農家向けの木綿交織や、太糸を使う丹後縮緬機業地および西陣方面に売り出され、生糸の仲買人や問屋の買いたたきも行われていた。

製糸技術の改良において、堀勘七(田町・信州から桑苗取りよせ、手挽製糸場経営)、田中啓造(田野村・天蚕飼育)、梅原和助(綾部町・座繰製糸伝習所を開く)等によって、何鹿郡内の器械製糸の先駆けとなった。蒸気汽缶による製糸法は立遅れていたが、丹波地方独特と言われる「烟気取」<sup>えんきどり</sup>の技術開発があった。明治15年中上林の福井久兵衛が始めた木製水車運転のケンネル式器械(炭取)が最初であった。

由良川流域に発達し、江戸時代から生産の多かった綿作は、しだいに桑畑に代わっていった。従来の立木桑から刈桑を栽培し、また夏蚕飼育から春蚕飼育が多くなり、より安定した飼育が出来るようになった。さらに「清涼育(江州飼)」の指導を受け、「温暖育(奥州育)」の伝習を行った。この方法を用いることにより、繭の品質が良くなり、上簇も早められ、米・麦作の農繁期との重なりも避けられ、春蚕の飼育が普及してきた。やがて「折衷育」が考えられ、より安定した飼育が可能になった。

明治29年(1896)郡是製糸(株)が創立し、それに合流しなかった小製糸家たち(有光社を再興)は大正2年綾部製糸(株)を創立の基礎となった。

山城・丹波・丹後の毎国養蚕伝習所を統一し、綾部町に高等養蚕伝習所が開設され、これに対し何鹿郡蚕糸業組合は後の城丹蚕業学校となり、卒業生は養蚕教師・蚕種検査員・技術員と

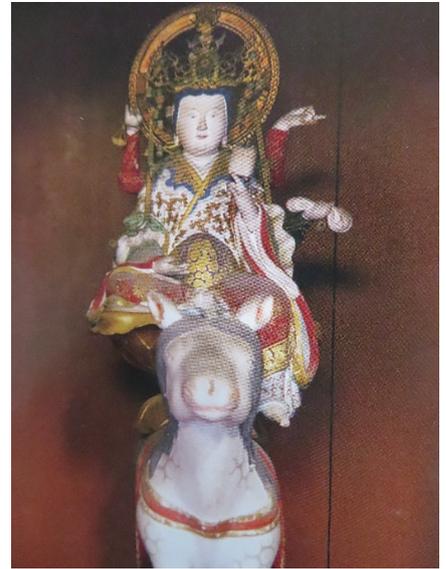


図3 馬鳴菩薩像(綾部市・興隆寺)

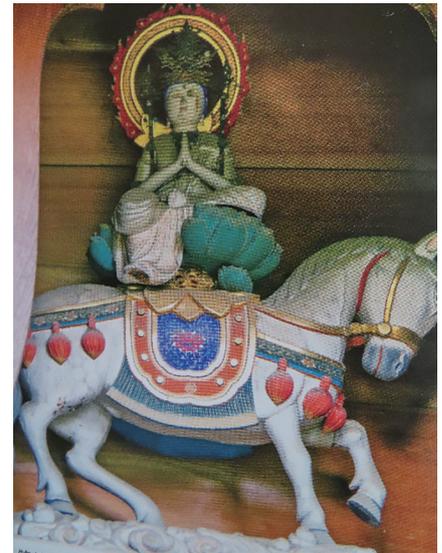


図4 馬鳴菩薩像(綾部市・惣持院)

して活躍した。

何鹿郡の製糸業の発達において、波多野鶴吉（郡是製糸㈱の創業者）は、産業立国を説いた前田正名（政府の殖産興業政策の推進者）を綾部に招いている。前田は講演会で「国に国是あり府県郡市町村それぞれ是なかるべからず」と叫んでいた。社名を「郡是製糸㈱」と名づけた。

明治後期の何鹿郡の蚕糸業を見ると、繭の品種統一の上から共同蚕種製造（大成館創設 ⇒ 社内で取引養蚕家用の蚕種製造開始）も進められた。養蚕業と製糸業の分離により、繭の取り引きの問題が大きく取り上げられ、特約取引（正量取引）が始められた。

郡是製糸・綾部製糸など製糸業の大規模化が進む（図 5）と、養蚕農家との特約取引が支配的となり、製糸資本に従属する形になっていった。何鹿郡蚕糸業の黄金の幕開けであった「蚕都」という呼称が登場するが、この華やかさに一層の光彩をもたらしたのが、大正 6 年（1917）貞明皇后（大正天皇の后）の綾部行啓であった。蚕業試験場綾部支場に向かい、民間企業の郡是製糸の工場を視察された。行啓に先立って道路改修が進められ、生糸業にかけた当時の企業家たちの熱い思いが読み取れる。波多野鶴吉の顕彰事業として、養蚕神社と波多野記念館の建設が郡の事業として行われたことはきわめて特色のあるところである（図 6）。

その後、昭和 5 年～6 年の大恐慌があり、綾部製糸は倒産し、地方経済に与えた影響は大きかった。

郡内の製糸業は郡是製糸



図 5 郡是製糸㈱の繰糸場

と神戸の商事会社の神栄

の 2 大企業に整理統合された。戦時中、郡是製糸は郡是工業と改称し、主に航空機部品・電気計器・縫製などに転換した。

終戦と同時にいち早く戦前の伝統ある蚕糸業を復元したが、養蚕家の不振により復興は期待うすとなり、靴下・メリヤス製品の生産・販売に経営主体は加工部門に転換していった。また、

神栄は、神戸栄町に生糸問屋業として始まっているが、綾部製糸がこの傘下に入り、新綾部製糸、神栄製糸と改め神栄生糸に吸収された。第 2 次大戦により生糸の輸出もできなくなり、業種転換を図り社名も神栄実業と変更した。2 大製糸会社の業種の転換により、養蚕・製糸産業は衰退していくこととなった。



図 6 波多野先生遺徳碑  
（並松町⇒青野町）

### 3.3. 福知山市

#### 3.3.1. 福知山市（旧・福知山市）

「大日本農史」に、農桑の神豊受大神を祭る神社は三丹地方に非常に多く、特に養蚕守護の神(馬鳴菩薩像・図7)として古くより知られた神社(永明寺)があり、養蚕に由緒の深い地方であることを思わせる。

古代但馬・丹後・丹波の三丹地方は、国内屈指の養蚕製糸の先進地とされたが、中世に衰退したようである。江戸時代に入ると、養蚕製糸は制限され、山間僻地の産業程度であったが、中期から各地で養蚕が盛んになってきた。

福知山地方でも、かなり早い時期から大切な余業とされたことは小物成(雑税)帳から窺うことができる。

江戸時代初期では、上納は真綿に限られ、製糸の実状は詳でないが、徐々に糸繰(製糸)をする者も多くなった。福知山藩で藩札が再発行された安永3年(1774)頃から、運上がかげられることになった。この絹糸も嘉永4年(1851)から御産物に指定され、桐実と並ぶ福知山藩の重要な藩専売商品の一つとなった。

改良の内容について見ると、①桑栽培は、立木から刈桑仕立へ、②蚕の飼育法は、天然飼育から清涼育・温暖飼育・折衷育へ、③給桑方法は、刈桑(きざんだ桑)給桑から条桑育(4・5齡期)・全芽育(稚蚕飼育)・刈芽育へ、④上簇は菜種の茎やケズロ等の木の枝から撚簇(毛虫風に藁を捻じる)へと進んでいった。また、蚕種も一代雑種に統一され全国的に普及した。これは郡是製糸の地方農業家指導協力と郡是の大発展(良質繭・公正取引)によるところが大きい。

大正9年(1920)郡是製糸(株)福知山工場設置し、また翌年、鐘ヶ淵紡績(株)福知山工場が誘致され、2大繊維工場として生産物出荷農村振興、商業振興の担い手として福知山市民に親しまれた。

#### 3.3.2. 大江町（旧・加佐郡）

養蚕の守護神が各地に祀られているが、大江町では元伊勢内宮・外宮があり、豊受大神が祀られている。また、寺院では養蚕守護の「馬鳴菩薩像」が清園寺(大江町河守)に養蚕信仰の対象とされてきた。(図8)

明治前期なって、桑栽培・蚕種製造・養蚕技術について先駆者・松尾五郎兵衛(河東・千原)により改良の動きがあったとはいえ、全体的には幼稚で旧来の伝統に従った原始的なものであった。

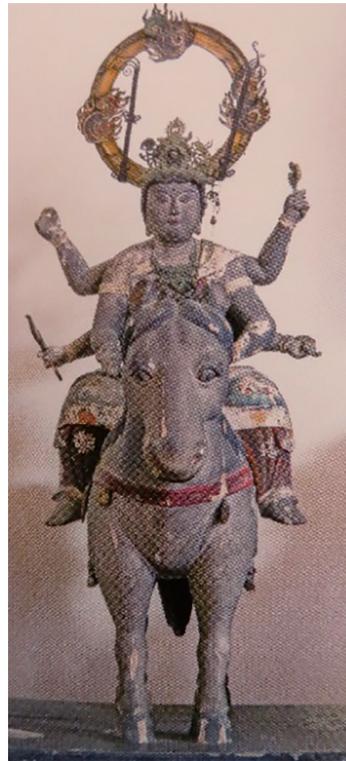


図7 馬鳴菩薩像(福知山市・永明寺)



図8 馬鳴菩薩像(大江町・清園寺)

また、彼は単身東国視察に出かけ、桑苗を持ち帰って試植を始めていた。たまたま丹後海に浮かぶ冠島から持ち帰った実生桑の中から良品種を発見した。人々は感謝をこめてこの桑を、千原村の「千」と松尾の「松」を取って「千松」と名づけた。千松桑は三丹地方の気候風土に適し広く普及していった。まさに郷土における養蚕の先覚者といわれ、河東公民館に頌徳碑(図9)が建てられている。

また、立木は刈桑に改植されていったが、桑苗生産はますます必要になり、尾藤の神内延右衛門は桑苗生産組合を創立した。この桑苗作りは農家にとって最適な副業(接木職人)になっていた。

この時期、座繰器の導入に続いて烟気取り、蒸気機関が取り入れられ、小規模製糸が群立した。大江地方の製糸業が盛況を呈した。しかし、その後は、大資本による製糸工場の黄金時代となり、小製糸場は姿を消していく。

大江では中等養蚕伝習所を有路の平野宅に開設された。藤井吉衛門は入所し、その後の蚕具や施設を開発し、郷土養蚕業の発展に大きく貢献し、石碑が公庄に建てられている。

また、一代交雑種を作るには、二系統の蚕種を分離して飼育し、その各系統の雌雄の繭を蛾が出る前に見分ける必要があった。夏間の「清気舎」の織田時蔵は、繭の重さの測定によって雌雄の繭を鑑別する「織田式雌雄鑑別器」(図10)を発明し、全国に向けて発売した。

大江町では、夏間・北有路・有路下・河守などに、多くの蚕種製造所が設立され、昭和に入るまで続いた。

また、荒木武雄教授(河守上出身)が開発した浸酸法によって、今まで年一回しか孵化できなかった一化性の蚕種は、随時自由に孵化できるようになった。

大江町では、明治41年(1908)加佐郡立河守蚕業学校(現・京都府立大江高等学校)が創立され、明治43年に農具室、納屋、堆肥舎、乾燥室、蒸気消毒室を完備し、養蚕家の手本となり、やがて町内に普及していった。また、地元養蚕家の蚕種貯蔵委託や催青委託にも応えるようになった。

また、大正期になると製糸は自社の中に蚕種製造部門を設け、自社産の蚕種に統合整理し、製糸家と養蚕農家は完全に分離してゆく。やがて、養蚕農家は養蚕教師ぐるみで製糸会社に隷属されていった。農村では、脱農化が進み、養蚕農家と繭生産が減少の一途をたどっている。



図9 松尾五郎兵衛紀功碑(大江町尾藤)



図10 織田式雌雄鑑別器

### 3.3.3. 夜久野町（旧・天田郡）

夜久野町東部には、かつて「糸街道」（図 11）と呼ばれた道がある。氷上郡佐治（丹波市青垣町）方面から上千原<sup>かみちはら</sup>に入り、額田・畑および仏坂峠を経て丹後国与謝郡加悦方面に至るルート（図 12）である。夜久野や佐治は丹後絹の原料糸の供給地であったため、このように呼ばれたという。

福知山藩領内で産する絹糸・真綿も嘉永 4 年（1851）に藩の産物に指定され、藩札をもって繭・絹糸の買入し、藩の正金銀獲得のため行われた仕法であった。

夜久野町の合併とほぼ時を同じくして、昭和 37 年（1962）「農業振興計画」策定において、和牛・養蚕・栗の 3 品目に取り上げられ、栗を中心とする構造改善事業が進められた。すでに斜陽産業と言われていた養蚕業は昭和 39 年（1964）の事業報告を最後に言葉を消し、昭和 62 年（1987）夜久野町での養蚕は姿を消すことになった。

### 3.3.4. 三和町（旧・天田郡）

稲作が農家の主要な生業であったが、米穀収入のみでは一家の生計が成り立つ家は少なく、稲作と並立する産業として、明治末期より盛んになったのが養蚕である。

古くから大原神社は蚕飼いの信仰の対象となっていた（「社地の小石を猫と名付けて、借りて下向する。これは蚕に鼠のつかぬ呪いなるべし。」）（図 13）。

三和町域の養蚕は明治以来、村の窮乏を救う最重要の農家副業として取り組まれてきた。しかし、関東・奥羽などに比して大きく遅れをとっていた。



図 11 糸街道（夜久野町中佐々木）

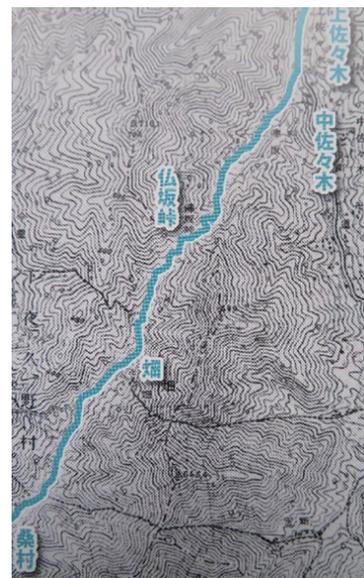


図 12 糸街道：ルート



図 13 大原神社（三和町大原）



図 14 河野太一郎先生頌徳碑（三和町）

河野太一郎は、城丹蚕業講習所教師として活躍し、地元・丹波蚕糸業会をリードした人物として、頌徳碑(図 14)が建てられている。

明治 29 年(1896)郡是製糸(株)が創業、明治 42 年(1909)上六人部村の共進社が郡是製糸に合併され、大正 2 年(1913)には綾部製糸(株)が創立されるなど、各郡(何鹿・天田・船井・加佐・与謝)に散在する 100 余の製糸家は、大会社に買収されてゆき、地域の養蚕熱が高まっていった。

その後は、天田郡の収繭はほとんど郡是萩原工場に出荷された。

また、夏秋蚕種の貯蔵には風穴が利用され、静岡県送って富士の風穴に冷蔵するのを常としたが、福知山で蚕種冷蔵組合を作って、夏秋蚕種冷蔵庫を設けた。さらに、従来の氷の使用からアンモニア式冷蔵庫(鐘紡福知山製糸所)を完成させ、多量の蚕種貯蔵が可能になった。

やがて、郡是製糸(株)萩原工場は衣料加工に転換し、軍需生産工場となった。残っている桑から、桑条皮が製紙材料をはじめ、桑皮綿材料や製縄・ロープ用に利用されるようになった。

### 3. 4. 船井郡京丹波町(旧・和知町)

和知の場合、「和知糸」の名が古文献に、日本の地誌「日本鹿ノ子」に挙げられた全国物産に「和知糸」の名が記されている。和知の総社でもあった本庄の阿上三所神社(図 15)の「お蚕菓子器」の神事が長く古式にのっとり近代まで傳承されていた。米の生産性の低い和知ではタバコや養蚕に活路を見出していた。また、下栗野大御堂(観音堂)の石段には「蚕立願供養塔」があり、西河内の薬師堂境内にも、「蚕供養之塔」が現存する。



図 15 阿上三所神社(和知)

そのほか、坂原阿上三所神社境内には、養蚕農家に信仰が厚く「馬鳴菩薩(蚕神)」を祀る小祠もある。

明治以来の和知では、上和知村では、村立養蚕伝習所を設置し、下和知村もそれに続いた。また、蚕糸業小組が発足し、製糸業も手挽の戸内製糸から蒸気機械模倣の木製水車運転のケンネル式の器械製糸が開発された。また、地元有志者の奔走により「共進社」ができた。

しかし、郡是製糸(株)和知分工場が創立され、綾部製糸(株)も創立されると、ますます製糸資本への従属が進んでいった。そして、現金収入によって村々は活気を増し、山間の藁屋根から白壁瓦房の家を目指すようになるのもこの頃である。

その後、昭和前半期の景気不況の中で養蚕の魅力は薄れ、それに代わる柱として大きくクローズアップされたのが「丹波の栗」の生産へと移行していった。

## 4. 参考文献

- [1] 京都府蚕糸業史 [2] 綾部市史上巻・下巻 [3] 綾部町史 [4] 何鹿郡誌(全)  
[5] 福知山市史第 1 巻～第 4 巻 [6] 大江町誌(養蚕編) [7] 夜久野町史第 1 巻・第 4 巻  
[8] 三和町史(通史編)上巻・下巻 [9] 舞鶴市史(通史編)上・中・下 [10] 和知町史第 1 巻・第 2 巻  
[11] 特別展図録「蚕業遺産×ミュージアム」(京都府立丹後郷土資料館)

## 近畿地方の織物に関する調査研究 西陣織 2

末沢 伸夫

公益財団法人 衣笠繊維研究所 〒603-8326 京都市北区北野白梅町 29 番地

### 1. はじめに

昨年度の自主的研究では、「近畿地方の織物に関する調査研究 西陣織」で西陣織の特徴、現状、歴史、生産される織物の種類について紹介した。今回は、西陣織の代名詞ともいえる紋織物の製造方法の技術進化について調査することとした。特に、ジャカードに代表する開口装置と紋紙作成装置の発展と電子ジャカードまでの変遷を調査し紹介する。

### 2. ジャカード装置の歴史

紋織物を製織するためには、たて糸を自由に開口させる装置が必要で、明治初期までは空引き機が古くから用いられてきた。これには、紋織物を製織するにあたり、たて糸の開口には高機の上部に座った空引工が人力でたて糸を持ち上げることにより開口させ、織り手とタイミングを合わせて織っていた。このため非常に時間と手間が必要とされていた。

この空引き機は、奈良時代に唐から渡ってきて、桃山時代以降、ジャカード機が導入されるまで長らく西陣で使われてきた。

この紋織物の開口作業の自動化を実現すべく開発されたのが、ジャカードである。ジャカードは紋紙と呼ばれる穴を開けた厚紙によって、穴の開いた部分のたて針が開口するような仕組みになっており、その開け方によって文様が織りだされる。この紋紙は、一越の開口ごとに1枚必要となり、文様によって数千枚から1万枚以上必要な織物もある。この紋紙は、意匠紙に従い、人力で紋紙1枚に1越分の穴をあけていた。これは紋彫りと呼ばれ、大変な熟練と労力が必要であった。また、これらの紋紙を順番に繋げる紋編みが行われ、これでジャカードにかけられる状態にした。紋紙枚数の多い織物では、この掛け替え作業に大変な労力が必要で、その保管場所にも大きな倉庫が必要だった。この紋紙の使用例を図1に示す。

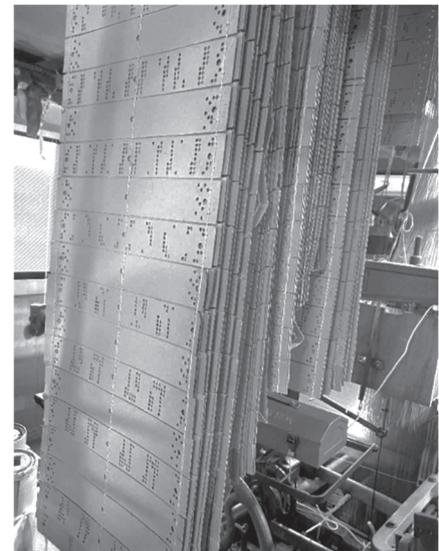


図1 紋紙

#### 2. 1 ヨーロッパでの歴史

ジャカードとは、1801年にフランスのジョセフ・マリー・ジャカール (Joseph Marie Jacquard) が発明した穴の開いた紋紙を使用した紋織の開口装置で、同年、パリ産業博覧会で発表され、その将来性が認められた。

ヨーロッパでは空引工をドローボーイと呼んでいたが、このドローボーイ (draw boys) に代わ

る装置を求めて数々の工夫がなされた。1603年、フランスのシンプロットがサンプルと呼ばれる紐を使用する方法を考案した。1605年にはイタリア・ミラノの織物職人である、クロード・ダンゴンがたて糸を引き上げる方向を滑車によって水平方向に変更した織機を発明した。これにより織機上に登って作業していたドロボーイは、織機側面ですべて糸の開口操作ができるようになり、さらに大きな柄も織れるようになった。

1725年には、フランスのバジル・ブション (Basile Bouchon) がパンチカードを使用したブション織機を開発し、1728年には助手のジャン・バティスト・ファルコン (Jean-Baptiste Falcon) により改良したファルコン織機が発明され、これがジャカード機の第一歩となったとされている。

1746年、ジャック・ド・ヴォーカンソン (Jacques de Vaucanson) が改良して現在のジャカード機に極めて近いヴァーガンソン織機が開発された。しかし、操作の煩雑さや当時失業を恐れた織工たちの強い反対を受け普及しなかった。

その後、ジョセフ・マリー・ジャカールが博物館に眠っていたヴォーカンソン織機を掘り起こし、入力に使っていた巻紙のパンチカードを、糸で繋ぎ合わせた厚紙のカードに替えて操作を簡便化した。1801年にジャカールは装置を織機の上に設置し、直接たて糸を引き上げる型式に改良したジャカード織機を完成させた。1805年にはフランス皇帝ナポレオンがこのジャカード織機を視察し、資金援助を行った。フランスでは1812年までに1万台以上ものジャカード織機が使われるほど普及し、1830年代にはフランス・リオンのほとんどの織機がジャカード織機へと転換していった。このため、ドロボーイの児童たちは他の工場での働き口を探さなければならず、より過酷な労働環境の工場に移っていった。

## 2. 2 日本での歴史

日本では、明治2年(1869)の「東京遷都」により西陣は高級織物の需要者層を大幅に失うとともに、生糸の輸出増加にともない国内生糸の価格が高騰し、経営危機を迎えた。

そこで、京都府は西陣の育成を計ることとし、明治5年(1872)には佐倉常七・井上伊兵衛・吉田忠七の技術者3名を織物製造技術が発展していたフランスのリヨンに留学させ、翌年、彼らは、ジャカード装置や紋彫機もんぼりきを持ち帰った。紋彫機は西陣では台彫機たいぼりきと呼ばれた。

京都府は勸業場の中に織殿を開設し、新しい生産技術の普及に努めた。ジャカードとバタタンを搭載した織機は、それまで使われていた空引機に比べ、数倍の生産効率を実現した。しかし、これらの装置は高価で、簡単に輸入することができなかった。そこで、この織殿の受講者だった西陣の機大工、荒木小平が明治10年(1877)に木製による200口のジャカード機を完成させた。

しかし、当時これを利用するものはほとんどいなかった。その後、1880年に佐々木清七が荒木小平の模索したジャカード織機を購入して試し、その販売に成功したことから西陣の織業者たちにも使用されるようになった。

また、息子の荒木新之助が空引機もんきげの紋揚作業をする紋揚台の紋揚機を開発した。その後、ジャカードの普及に伴い、この紋揚台から紋紙を穿孔する台彫機を開発した。これをきっかけに、装置導入の機運が高まり、明治20年代にはこうした洋式技術も定着し、西陣は最大の高級絹織物産地となった。

明治18年(1885)にはアメリカで開発されたピアノマシンが導入され、これに伴い、ドイツやアメリカから紋編機が導入された。大正4年(1915)には前田栄三郎が紋編機の国産化した。こ

れにより、紋彫作業の装置は3人で稼働する台彫機からピアノマシンに取って代わった。

この紋紙は、ピアノマシンで意匠図に従い、人力で紋紙1枚に1越分の穴をあけていた。これは紋彫りと呼ばれ、大変な熟練と労力が必要であった。また、これらの紋紙を順番に繋げる紋編みが行われ、これでジャカードにかけられる状態にした。

大正14年(1925)には福岡の中西金作が紋紙を用いない電気ジャカードを開発した話題となったが、当時の繊維業界に受け入れられなかった。

その後、昭和7年(1932)ごろまでは、好景気が続き、技術開発はほとんど行われなかった。さらに、昭和10年代には戦時下の戦時供出物資としてピアノマシンが供出され、紋業界も転業を余儀なくされた。

## 2. 3 戦後の発展

戦後、昭和36年(1961)には、方眼紙上に描かれた図柄を読み取り、自動的に紋紙が彫られる電子式自動紋紙穿孔機<sup>せんこう</sup>が林紋工匠によって発表されている。これは、400口の紋紙を1分間に12枚作成し、人の作業の10倍のスピードであった。

昭和46年(1971)には、工業技術院繊維高分子材料研究所が紋データを紙テープで出力するコンピュータによる電子式自動紋紙穿孔システムを「萱場工業」、「川島織物」「中央電子」と共同で開発した。これを機に「じゅらく工芸織」「大日本スクリーン」「日立電子」や「村田機械」「大日本スクリーン」からシステムが発表された。その後「三菱レイヨン」「萱場工業」「大日本スクリーン」「東海システム」などが参入し、自動紋紙穿孔システムが西陣に導入されていった。

昭和50年代には、エレクトロニクスの発展が目覚ましく、西陣織物工業組合が京都市染織試験場で開催していた「西陣織新設備展」では、コンピュータによる紋関連の設備が多く紹介された。また、出力も紙テープからフロッピーディスクへと変わっていった。さらに、それまで手描きであった意匠紙から紋意匠をコンピュータ上で作成し、紋紙データに変換するデザインシステムが開発され、紋紙の穿孔パターンをテープやフロッピーに出力し、紋彫機で紋紙を彫る方式がおこなわれていた。

その後、昭和53年(1978)紋紙に換わる直織り装置(ダイレクトジャカード)が「佐和染織工芸」から、次いで「萱場工業」から発表された。これは、ジャカードの紋紙読み取り部分を、ソレノイドからなる装置で置き換え、紋紙データは、デザインシステムで作成されたデータをフロッピーディスクに入れ、これを直織り装置の制御装置で読ませてジャカードを制御していた。この装置に置き換えると紋紙が不要となった。これはフロッピーのデータにより開口を制御するもので、大幅なコスト削減と新規織物データ開発の短縮が図られた。このため、多くのジャカードに搭載されるようになった。

直織り装置の普及に伴い、「佐和染織工芸」、「萱場工業」など複数のメーカーにより、多種多様のデータ形式が使われるようになった。そこで、これらのデータ形式を統一するため、昭和58年(1983)に西陣織工業組合と京都染織試験場が中心となってCGSフォーマットを作成した。直織り装置の普及にともない、CGSは日本全国の織物産地で使用されるようになり、ジャカードデータを記述するための標準フォーマットとなった。その後、メディアの変化からCGSⅡフォーマットに改良されている。

このころ、ヨーロッパでは織機の広幅化、高速化によって高速のジャカードが「ストーブリ・

ベルドール」「グロッセ」「シュライハー」などの各社から発表され、西陣でもレピア織機の導入に合わせて、複動全開口ジャカードが広幅業者を中心に導入された。

その後、コンピュータ業界の記憶メディアの進化から、平成 23 年（2011）に日本でのフロッピーディスクが生産されなくなり、USB や、オンラインで紋データが送られるようになった。

それに加え、昭和 60 年代からたて針、よこ針のあるメカ式ジャカードに対して、たて針、よこ針のない電子ジャカードが出現した。これは紋紙を使わずに、電気的信号によってたて糸の上がり下がり制御できるようになりデザインシステムから、USB やネットワークでジャカードに出力されるようになった。日本では、「川浪鉄工所」「佐和染織工芸」が開発を進めた。これは、いずれも、シャトル織機用の低速用となっている。

ヨーロッパでは、「ストーブリ」から 8 口のモジュール式の、たて糸を開口するためのフックを簡単に交換できる電子ジャカードが発売された。この電子ジャカードは「ボーナス」「グロッセ」などからも発売された。

### 3. 機装置

現代の電子ジャカードでは、たて糸の上下動を制御するユニットがありこの数により、1536 口、3072 口、4096 口、5120 口、6144 口などの種類がある。さらに、大口数にするため、2 連につながる場合もあり 10000 本以上のたて糸を制御することができる。このように、ジャカードのたて針に綜統そうどうが 1 対 1 に対応していれば、機装置の工夫は必要なくなる。

しかし、従来のジャカードには、たて糸の上下動を制御するたて針があり、この本数により 1344 口、900 口、600 口、400 口などのジャカードがあるが、これらは、織物のたて糸本数に比べてそのたて針数ははるかに少ない。これを解決するための様々な工夫が空引き機のところから行われてきた。この工夫には「釜」や「はつり」、また、この「釜」「はつり」の併用があり、少ない口数のジャカードで紋織物を製織する工夫がされてきた。これらを説明する。

#### 3. 1 釜

この釜はネクタイ地や金欄地の製織によく用いられる機装置で、ジャカードのたて針から紋針数の間隔でたて糸が通った綜統と通糸を竜頭で束ねることにより、同一文様が等間隔に織り出される。この織幅方向の柄数を「釜」という。これにより、少ない口数のジャカードで多くのたて糸を制御できる。

図 2 は、ジャカード 1 本のたて針から 4 本の通糸により綜統を制御する場合の模式図で、これを 4 釜と呼ぶ。

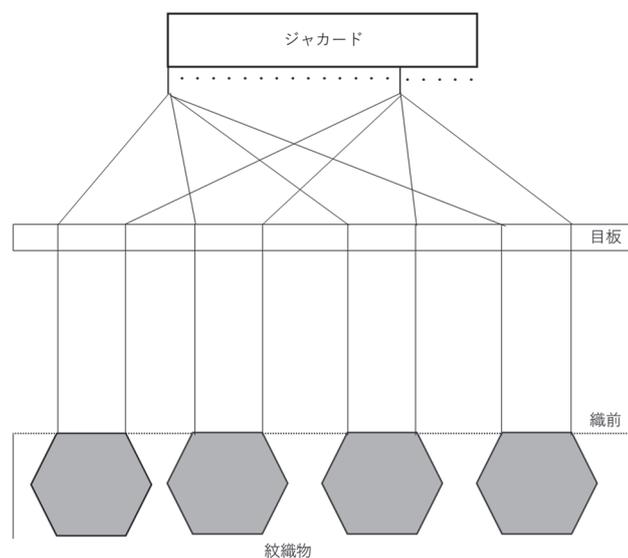


図 2 釜

例えば、8000 本程度のたて糸があるネクタイ地を 1344 ロジャカードで製織する場合で、1296 本のたて針を用いて 6 釜で製織すると、 $1296 \times 6 = 7776$  本のたて糸数の織物を織ることができる。

### 3. 2 はつり

はつりは隣り合った決まった本数の通糸につながった綜統を上下に制御する。つまり、はつり本数分の隣り合ったたて糸が同時に開口することとなる。

例えば、5 本はつりで 400 ロジャカードの 384 本のたて針に綜統をつなげると、 $5 \text{本} \times 384 \text{本}$  で 1920 本のたて糸を制御できる。

図 3 は、ジャカード 1 本のたて針から隣り合った 5 本の通糸により綜統を制御する場合の模式図で、これを 5 本はつりと呼ぶ。

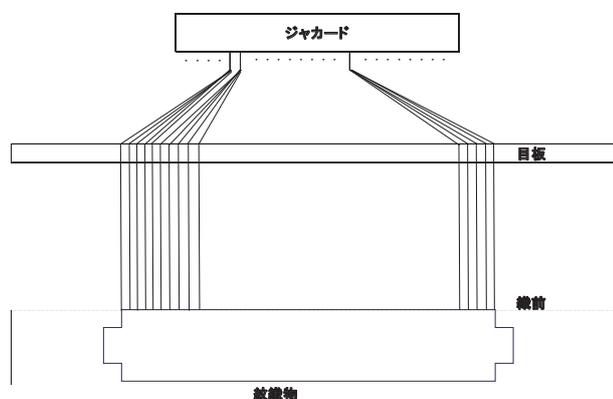


図 3 はつり

### 3. 3 棒刀 (ぼうとう)

しかし、はつりで紋織物を織るには、地組織が粗くなってしまう問題がある。これを解決するために棒刀と呼ばれる装置が用いられてきた。この棒刀は厚さ 5mm、幅 40mm、長さは織幅よりも 150mm ほど長いヒノキなどの薄い板状のもので、数か所を通糸でつなげ、ジャカードのたて針 1 本で制御している。この棒刀は目板の 1 列に 1 枚が割り当てられ、カタン糸の輪の中を通り、このカタン糸の輪の先に綜統が結ばれている。すなわち、同じ目板の 1 列にある綜統がすべて 1 枚の棒刀につながっている。このため、ジャカードのたて針を上下することにより、棒刀につながったすべてのたて糸が開口運動をすることになる。

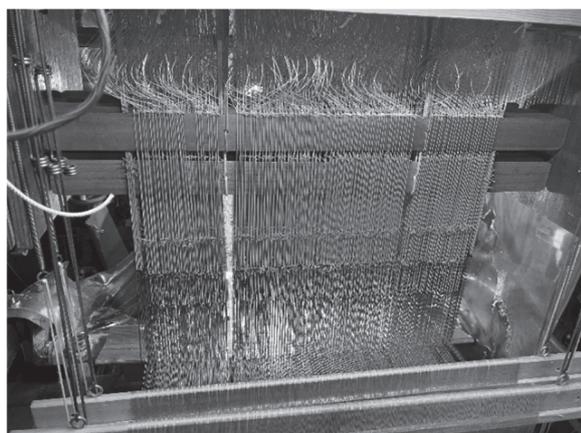


図 4 棒刀

この棒刀の実用例を図 4 に示す。上部にある板が棒刀である。

これは、織物の地組織によって使用する枚数が異なることとなる。錦地に用いられる 3 枚紗文では、3 の倍数の棒刀が必要となる。これを、3 枚の棒刀で済ますには、1 枚の棒刀に全体の 3 分の 1 の負荷が加わることとなる。これは、現実には不可能なため、24 枚の棒刀を用いるのが一般的である。

また、緞子地などの 5 枚朱子では、5 の倍数の 30 枚の棒刀を用いるのが一般的である。

### 3. 4 伏機（ふみせ）

紋織物を一般的な織裏で織る場合、大きな柄では絵緯や縫取糸が大きく浮いてしまう問題がある。これを押さえるためには、開口したたて糸を押さえる必要がある。伏機は開口したたて糸を強制的に閉口させる装置で、箴と棒刀の間に設置する。伏機に用いる綜統は、松葉綜統と呼ばれる綜統目の長い形状で、その中に1本のたて糸を通してある。この松葉綜統は1つの綜統枠にたて糸本数を綜統枠の設置枚数で割った本数が設置されている。これをジャカードのたて針1本で制御している。このたて針が上がると、綜統枠1枚が下がる構造で、この綜統枠に通ったたて糸が、強制的に閉口することとなる。

伏機の枚数は棒刀枚数の約数で、24枚棒刀の錦地では12枚や6枚の伏機が、30枚棒刀の緞子地では15枚や10枚の伏機が用いられる。例えば、15枚の伏機が用いられる場合、たて糸は15本ごとに1本のたて糸が閉口することとなる。これを5枚朱子組織で閉じる場合、1越で3枚の伏機がたて糸を押さえることとなる。

## 4. おわりに

今回は西陣織の代表的織物で得ある紋織物の生産技術の変遷を、ジャカードから電子ジャカードまで調査し、紹介した。また、工夫されてきた機装置の調査も行った。今後も、最大の紋織物産地である西陣織の調査研究を進めたいと考えている。

## 5. 参考・引用文献

- [1] 世界史を変えた50の機械 Eric Chaline、柴田譲治訳、2013
- [2] 京都近代染織技術発達史 京都市染織試験場、1990年
- [3] 二十世紀西陣織物総覧（前編） 京都市染織試験場、2001年
- [4] 二十世紀西陣織物総覧（後編） 京都市染織試験場、2002年
- [5] 織物組織 応用編 京都市産業技術研究所、2007年

# カイコガオス側からみた生殖機構の解明とその応用技術開発

長岡 純治

京都工芸繊維大学 応用生物学系 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

## 1. 研究の背景

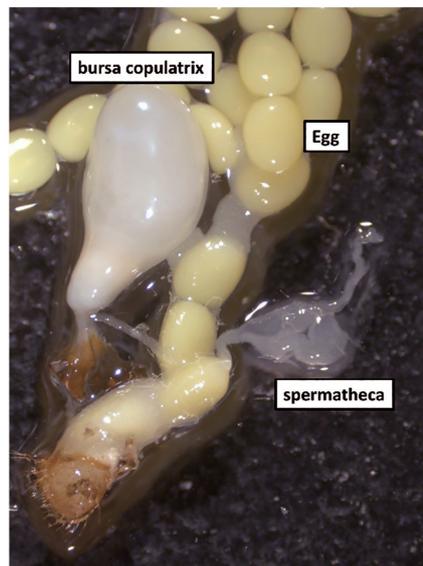
世界人口は、現在 79 億人を超えてこのまま増え続けると、2050 年には 100 億人近くになることが予測されており、タンパク質資源をめぐる食糧難が大いに懸念されている。この課題を解決する方策として国際連合食糧農業機関 (FAO) が推薦しているのが「昆虫食」である。この根拠となっているのが、昆虫養殖には作物ほど広大な土地は必要とせず、温室効果ガス発生も少ないと見積もられるので環境におよぼす影響はより少なく出来ると推測されていることにある。現状、まずは家畜飼料用に昆虫を大量養殖することが提案されている。将来的には、現在、世界で少なくとも 20 億人が約 1900 種類の昆虫を食用としているものを一般的な栄養摂取食料に位置づけようとしている。しかし、この目標を達成するには、養蚕学がその発展の過程で経験してきたように季節に左右されない昆虫増殖パイプラインの開発と優良品種・系統の保存と作出が必要となり、卵子、精子の長期保存とそれらを使った人工授精・孵化方法の確立は最重要課題になるものと予想される。一方で、2050 年問題は、気候変動などによる作物栽培環境の劣悪化に伴う病害虫による生産力の低下も指摘されている。これに対しては、従来の化学物質に頼った殺虫剤に代わる環境負荷の低い昆虫妊性制御による昆虫数制御技術 (Sterile insect technology, SIT) の確立が急務と指摘されている。従来、SIT は放射線照射によって作成した不妊オス虫を多量に野外散布することで、次世代に発生する虫の個体数を抑制することが進められてきた。これに対して、近年、*Wolbachia* 罹患オスを散布する方法 (microbe-mediated sterile technology, mSIT) や生殖および胚発生に関与する遺伝子破壊オスを散布する方法 (genetic-based inheritable sterile technology, gSIT) が開発・注目されてきている。特に、gSIT におけるターゲット遺伝子としては、筆者らが発見・同定したカイコガオス前立腺特異的に合成・分泌される精子成熟誘発因子であるトリプシン様セリンエンドペプチダーゼ、イニシヤトリン (BmIni) が注目されている (Seth *et al.*, 2023)。種々のチョウ目昆虫に存在する BmIni 相同遺伝子ノックアウト系統は、成虫までの発生や生殖行動に全く影響しないのにもかかわらず、そのオス個体と交尾したメスは殆ど受精卵を産まないことが報告されている。

本研究は、カイコガオス (精子) 側からみた生殖機構の解明を目指して、「未成熟精子の成熟化と受精に関係するオス生殖腺分泌物 (精液) とメス生殖腺分泌物」を生理生化学的な分子レベルで取り扱った。この知見は、昆虫全般に共通した精子成熟化機構の理解につながり、未利用昆虫資源の保存と人工生殖による利活用ならびに、害虫として分類されるような昆虫や希少・絶滅危惧昆虫の gSIT 技術基盤への展開を期待する。

## 2. 研究の目的

### 2.1 受精に至るまでの精子変化の検討

他のチョウ目昆虫同様にカイコガ精子には、核をもち受精に参画する正型精子 (eusperm, 有核精子, eupyrene spermatozoa) と、核を持たない異型精子 (parasperm, 無核精子, apyrene spermatozoa) が存在している。オス生殖腺の一部である貯精嚢 (vesicular seminalis) に貯えられた運動能を持たない両型精子は、交尾・射精に伴ってメス交尾嚢 (bursa copulatrix) へと移動することで運動能を獲得する。さらにその一部の精子は受精嚢 (spermatheca) へと移動する (第1図)。その後、そこから脱出した精子は卵子唯一の侵入口である卵門から卵内へと入り受精へと至る。交尾・射精時間は、約 30 分、射精から産卵終了までは約 24 時間と一定時間を要することから、その間に二型精子はメス生殖器官内を移動していきながら、受精ができるような成熟状態へと変化していることになる。今まで断片的な記載はあるものの、オスからメスへの射精移行、オス射精完了後からの時間を追っての各メス生殖器官における精子移動状況とその変化に関する詳細な観察は行なわれ来なかった。そこで、二型精子を区別するために、核を Hoechst 33342 で染色して微分干渉法による顕微鏡観察を行った。また、一般的に培養細胞などで生細胞細胞質を染める Calcein Blue-AM (CB) と、死細胞核を染める Propidium Iodide (PI) によって二重染色を施して、精子状態の検討を行なった。



第1図 カイコガメス生殖腺の概要

### 2.2 オス生殖腺発現遺伝子・メス受精嚢発現遺伝子の解析

羽化後 0 日の未交尾 *w1 pnd* 系統オス成虫生殖輸管 cDNA ライブラリーをロングリードシーケンサー PacBio Sequel II (パシフィックバイオサイエンス社) の ISO-Seq により解読した配列情報を KAIKObase (<https://sgp.dna.affrc.go.jp/index.html>)、SilkBase (<https://silkbases.ab.a.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/index.cgi>) から提供されるカイコガ共通ゲノムに貼り付け、正確度の確保とスプライシングバリエーションの整理を行なった上で、KAIKObase4 Reference Transcription 4.1.2 (2022) を使ってアノテーションを行なった。

羽化後 0 日の未交尾交雑種・錦秋×鐘和メス成虫より取りだした受精嚢を Miya (1982) に従い 4 部位 (spermathecal duct, small lobe, large lobe, accessory gland) に分割してそれぞれからライブラリーを SMART (Switching Mechanism At 5' End of RNA Template) 法を用いて作製した。これを NovaSeq システム (イルミナ社) による 150 base 長ペアエンドシーケンス解析 (RNA-seq 解析) を実施して、得られたデータは、参照配列マッピング、遺伝子定義を行なった。

## 3. 結果

### 3.1 オス・メス生殖器官における精子状態変化

オス貯精嚢は、羽化後 1 日未交尾オスから摘出した。交尾は、26°C 下で羽化当日メスに羽化後 1 日オスを組み合わせて行い、射精が完全に終了する 30 分後、強制的に分離した。交尾開

始後 20 分（射精中）、30 分（射精完了）、2 時間、3 時間、5 時間、12 時間、18 時間、24 時間（産卵終了）にメス腹部を切開することで交尾嚢と受精嚢を摘出した。それぞれの器官から回収した。

未交尾オス貯精嚢では、正型精子は束の状態、異型精子は 1 本 1 本が離れた状態で存在していたが、両者ともに運動能はなく、ほとんどが CB で染色され、PI では全く染色されなかった。CB 自体は蛍光をほとんど持たないが、細胞内のエステラーゼによる加水分解で膜不透過性化合物 Calcein と変化すると細胞質内で蛍光を発するから、貯精嚢内に貯えられている精子は、極めて代謝活性が低い状態におかれているものと推定される。

交尾嚢では異型精子は速やかに前進性のない円形の波状運動を持つようになり、交尾後の時間経過に伴いその運動は増強されていった。一方、正型精子束は交尾後 20-30 分にまず頭部が解離した後、活発な運動を伴って尾部が解離していった。交尾後 2 時間には完全に一本 一本が分離した状態となったが、これ以降、明白な運動能は観察されなかった。異型・正型精子共に多くが CB によって染色された。

受精嚢では、交尾後 2 時間に large lobe で、交尾後 3 時間には small lobe でもほぼ同一存在比で両型精子が観察されるようになった。しかし、交尾後 5 時間以降、large lobe 上部から見出される異型精子の割合は大幅に小さくなっていった。両型精子の運動能はほとんどなく、交尾嚢内よりも CB 染色陰性、PI 染色陽性精子が有意に多かった。

## 3.2 成虫オス生殖輸管で発現する遺伝子の解析

### 3.2.1 lncRNA の探索

配列長が 200 nt 以上の RNA で 5' 端に Cap 構造、3' 端に poly A tail を持っているものの、大きな ORF を持たないタンパク質をコードしない所謂、ノンコーディング RNA (ncRNA) の一種である lncRNA は最近、そこから作られる低分子ペプチドが遺伝子発現の制御に係わっている可能性が指摘されている (Bridges *et al.*, 2021)。既に、複数の exon から転写される透明腺特異的な *e005*, *e104* と貯精嚢特異的な *e048* の 3 種類を見出してきた。更なるオス生殖腺部位特異的な発現 lncRNA を見出すために、まず、オス生殖腺発現遺伝子データベースを探索して、5 種類 (*e222*, *e225*, *e249*, *e281*, *e283*) に注目した。*e222*, *e249*, *e281* は生殖腺、幼虫組織で広く発現していたが、*e225* は白腺、*e283* は、貯精嚢特異的に発現しており、胚発生過程、幼虫・成虫組織における発現は、極めて弱かった。このことから、特に貯精嚢特異的に発現する *e048*, *e283* は、精子貯蔵に係わっている可能性が予想された。そこで、これらの RNA が精液中に放出されて、射精に伴いメス生殖器官に移動している可能性について検討したが、これら RNA が完全長の状態で精液中に存在していることは見出せなかった。

### 3.2.2 精子成熟誘発因子カスケード (BmIni の基質) タンパク質の探索

哺乳動物における血液凝固や、節足動物における生体防御反応に複雑なセリンプロテアーゼカスケードに係わっていることを参考にして、BmIni の好適認識配列である Arg-Arg 配列が推定 Pro-Mature 接続領域に存在することで、BmIni によってその活性が調節される可能性が予想される推定トリプシン様セリンプロテアーゼ *e055* に対する抗体は、既に未交尾オス貯精嚢特異的な 38.7 kDa タンパク質と反応した。さらに、貯精嚢を含む生殖輸管の分泌物移行先であるメス交尾嚢内に形成される精包からは、Mature 領域の推定分子質量に相当する 27.6 kDa タ

ンパク質が検出された。この e055 は貯精囊精液の精漿部分に含まれていた。また、交尾前の貯精囊から分泌物と共に取り出した未成熟精子に適當濃度の trypsin または BmIni を含む前立腺摩砕物を *in vitro* で混合させると、精子は受精可能な成熟状態へと変化するが、貯精囊貯蔵精液の精漿部分のみに対して同様な処理を施しても e055 は交尾囊内同様な分子質量変化が生じることを明らかにした。以上の結果はオス貯精囊特異的に合成・分泌される e005 推定セリンプロテアーゼは、BmIni による活性調節を受けて、精子成熟に係わっているものと強く予想された。現在、大腸菌発現 e055 タンパク質が精製 BmIni によって分子質量変化を生じるのか、さらに変化するならばどのような性質をもったプロテアーゼ活性が検出されるようになるのかを検討している。

### 3.2.3 精子成熟誘発因子 BmIni 機能 (活性) 阻害セルピンの探索

オス生殖腺発現遺伝子の中には、多数のプロテアーゼ活性阻害タンパク質・セルピン (Serine Protease Inhibitor, Serpin) が存在している。e092 は前立腺特異的に発現する推定カイコガセルピン (UniProtKB: Q2F5W3) であり、これに対する抗体を調製して、Western blotting により調査したところ、交尾前の前立腺特異的に 推定分子質量に相当する 61 kDa タンパク質と反応して、射精に伴って消失したが、精液のメス移行先である交尾囊からも安定的に検出された。そこで、さらにオス生殖腺発現遺伝子データベースの探索を再度行ない、前立腺特異的に発現する推定カイコガセルピン様タンパク質 (UniProtKB: C0J8G2) に注目した (e218)。遺伝子から推定される分子質量は 47.1 kDa であるのに対して、大腸菌発現タンパク質は、50.1 kDa と少しく異なっていた。これを精製、免役することで抗体を作成して e092 同様、Western blotting により調査した。この抗体は、オス生殖腺では前立腺特異的に 58 kDa タンパク質、メス精包を含むメス交尾囊では、58, 50, 38 kDa タンパク質と反応した。BmIni は、前立腺を pH 3 条件下で摩砕・抽出すると不活性型前駆体、CTAB を含む pH 7.8 条件下で摩砕・抽出すると、活性成熟型を得ることが出来る (Nagaoka *et al.*, 2012)。そこで、これらの条件下で前立腺を摩砕して、その抽出液タンパク質に含まれる BmIni, e092, e218 について調査したところ、BmIni が活性化されると、それに伴って、e218 は 58 kDa に加えて 50 kDa タンパク質として検出されたのに対して e092 は全く変化しなかった。このことから、e218 は、前立腺に含まれるセリンプロテアーゼ、特に、BmIni の活性制御に係わっている可能性が予想された。現在、e092, e218 の大腸菌発現タンパク質を用いて、様々なセリンプロテアーゼに対する阻害活性を検討すると共に、精製 BmIni に対する阻害活性についても調査している。

### 3.2.4 ノックアウト系統を利用した精漿タンパク質の機能解析

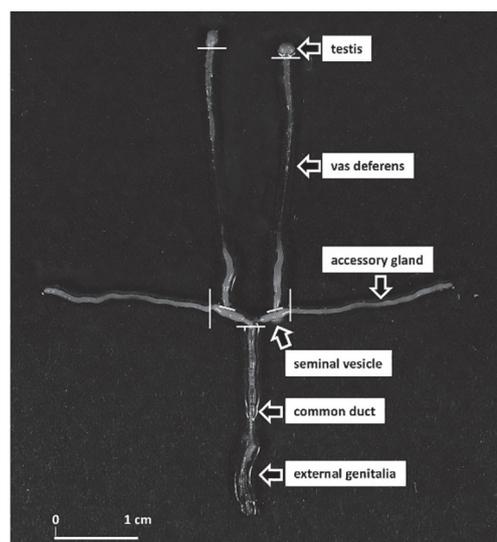
精子成熟は多面的な反応の総和であり、その上流に位置する BmIni によるタンパク質分解は貯精囊特異的に合成・分泌されるカルボキシペプチダーゼ (Sakakura *et al.*, 2022) や、複数の機能未知精液タンパク質 (BmSfp32, 38, 49, 52, 53, 62) がその基質となっていることを明らかにしてきた。これらの精液タンパク質の動態をそれぞれに対する特異的抗体を用いて調査したところ、交尾囊内で分解された BmSfp25, 32, 38 の断片ペプチドは受精囊へと移動していなかったのに対して、互いに類似した一次構造を持つ BmSfp49, 53, 54, 62 は、交尾囊で特異的に分解されたペプチド断片の一部が受精囊へと移動していることが明らかとなった。

TALEN によってこれら BmSfp49, 53, 54, 62 遺伝子がホモノックアウトしたオス (KO) は発

生・交尾行動に異常は認められないが、完全不妊となることが明らかとなっている。このオスの正型精子について観察したところ、交尾囊内において野生型に比べて交尾開始後 60 分の時点で、核基底部の横幅が有意に細くなり、300 分後になるとさらに細くなる、なんらかの細胞障害による奇形が見出された。そこで、さらに CB, PI による二重染色を行なったところ、KO は、野生型に比べて CB 陽性正型精子の減少が著しく、鏡像対称的に PI 陽性精子が増加したので、受精囊に移動する頃には大方が死細胞状態になっているものと判断された。その原因を探るために精子のミトコンドリア膜電位を、MT-1 による染色観察と交尾囊・受精囊に含まれる尿素量変化を調べたが、これらについては野生型と KO の間には大きな差が見出せなかった。しかし、交尾囊内一酸化窒素 (NO) 濃度は野生型に比べて高い傾向にあった。交尾囊内では NO が精液タンパク質一酸化窒素合成酵素 (NOS) の働きによって NO が合成されており、これらは精子が成熟する過程での運動能獲得に係わっている (Nagaoka *et al.*, 2017)。今回、NOS の基質となるアルギニンを多く含む BmSfp49, 53, 54, 62 が欠損することで、むしろ NO は野生型より高い濃度となり、これが精子に対して毒性を持つことで、受精囊へ移動できなくなり完全不妊となったものと推定される。

### 3.2.5 サクサン (*Antheraea pernyi*) の BmIni 相同セリンプロテアーゼ遺伝子 (*ApInir*)

タバコスズメガ (*Manduca sexta*)、ハチノスツヅリガ (*Galleria mellonella*) などの異型精子活性化因子は、カイコガと異なり、各種 trypsin inhibitor に不感受であり比較的熱に安定な分子質量約 37.7 kDa の物質であると報告された (Shepherd and Bonk, 2021)。このような知見のズレを解消するために、カイコガ同様にサクサンオス生殖腺貯精部位 (seminal vesicle) に存在する運動能を持たない 2 型精子を *in vitro* に取り出して、trypsin や陰茎に近い射精管磨砕物を加えたところ弱いながら前進性のない運動能の獲得を観察した (第 2 図)。単離された *ApInir* は、BmIni と 67% の相同性を持ち、推定分子量 27,849 の分泌タンパク質であった。*ApInir* 発現、ならびにそのタンパク質は、精巣以外の生殖腺全体、特に、貯精部位で最も強く存在していた。同じカイコガ上科



第2図 サクサン (*Antheraea pernyi*) オス成虫生殖腺の構造

に属する昆虫種であっても、オス生殖腺構造が異なり、それに伴って異型精子の運動能獲得に係わる精液タンパク質の合成・分泌部位が異なっている可能性が見出された。

### 3.3 メス受精囊で発現する遺伝子の解析

受精囊 4 部位の組織タンパク質を SDS-PAGE により解析したところ、accessory gland は他の部位と著しく異なったタンパク質によって構成されていた。これを踏まえて各部位の RNA-seq 解析を行なったところ、accessory gland からは 28 種類の特異的な発現遺伝子を見出した。これらの中には、細胞同士の接着認識、抗菌性ペプチド、プロテアーゼなどが含まれており、現在、それ

らの遺伝子が accessory gland 特異的であるのかを確認するために、完全長の遺伝子単離と発現を RT-PCR により確認すると共に、精子に対する機能を明らかにするための解析を行なっている。

#### 4. 将来の展望

カイコガやヒトを含む体内受精型動物では共通して、オスは射精により精液（精子+精漿）をメスに送り込み、精子は精漿に含まれる物質や卵子と出会うまでに移動するメス生殖器官各部位から分泌される物質の影響を受け、最終的に、卵子へ侵入できる段階へと変化（精子成熟）をする。カイコガ生殖行動は人工管理下で交尾、決まった時間内に射精を完了、決まった時間にメスの生殖器官内を移動、最終的に決まった時間内に産卵を行なう。すなわち、交尾から産卵に至るまでの期間の精子変化を捉えて、その時に作用する精液タンパク質、メス生殖腺分泌タンパク質の単離と機能解析が可能である。本研究を通して、精子の成熟、受精に関与する因子タンパク質の探索を可能とするオス生殖腺発現遺伝子、メス受精嚢附属腺発現遺伝子データベースが完成した。今後、更なる展開を持って、精子成熟の初期段階における精漿タンパク質の機能についての理解と精子成熟の最終段階である精子の受精嚢から脱出、そして卵細胞へと侵入に係わる分子メカニズム理解が進むものと期待できる。

#### 5. 引用文献

1. Seth, R. K., Yadav, P., Reynolds, S. E. (2023) Dichotomous sperm in Lepidopteran insects: a biorational target for pest management., *Front. insect sci.*, 3.
2. Miya, K. (1982) Ultrastructure of the spermatheca of *Bombyx mori* and structural change of the sperm in the spermatheca and the egg cell., In *The Ultrastructure and Functioning of Insect Cells*. (King, R. C. and Akai, H. eds.) pp. 49–52. Sc. For Insect Cells Japan.
3. Bridges, M. C., Daulagala, A. C., Kourtidis, A. (2021) LNCcation: lncRNA localization and function., *J. Cell Biol.*, 220, e202009045.
4. Nagaoka, S., Kato, K., Takata, Y. (2012) Identification of the sperm-activating factor initiatorin, a prostatic endopeptidase of the silkworm, *Bombyx mori*., *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 42, 571–582.
5. Sakakura, M., Takata, Y., Kimura, C., Matsuda, S., Takamura, T., Nagaoka, S. (2022) Limited proteolysis by a prostatic endopeptidase, the sperm-activating factor initiatorin, regulates the activation of pro-carboxypeptidase B in the seminal fluid of the silkworm, *Bombyx mori*., *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 148, 103819.
6. Nagaoka, S., Asagoshi, M., Kato, K., Takata, Y. (2017) Success in the acquisition of *Bombyx mori* sperm motility is influenced by the extracellular production of nitric oxide (NO) in the presence of seminal fluid nitric oxide synthase (NOS)., *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 84, 40–47.
7. Shepherd, J. G., Bonk, K. S. (2021) Activation of parasperm and eusperm upon ejaculation in Lepidoptera., *J. Insect Physiol.*, 130, 104201.

## 京都市立正親小学校4年生の授業「総合的な学習の時間」への支援

井上 佳彦・末沢 伸夫

公益財団法人 衣笠繊維研究所 〒603-8326 京都市北区北野下白梅町29

公益財団法人 衣笠繊維研究所は、教育支援事業として、京都府の小中学校等の教育機関において、絹織物の素材である「カイコ」を生物材料とした理科教育を通して、絹織物への理解を深めることを目的に、財団自らが教材を提供し、現場の先生方と協力しながら参画する授業を実施するものです。

京都市立正親小学校では、当時の辻本博子校長が提起された「総合的な学習の時間」の教育方針としてカイコを用いた「命」の尊厳に関する教育、西陣の歴史的背景を踏まえた染織文化の伝承に取り組まれていました経緯もあり、辻本校長から2018年に古澤 壽治代表理事への支援要請を受け始まったもので、今年で7年目となるものです。

その後、阿部 正人校長時代を経て今年度も、長谷川 英司校長のもと4年生を担当された井上雅彰教諭が、その方針基づいての授業が実施されました。

今年度は、計4回の支援授業を以下の通り行いました。

1. 「カイコの成長、変態」 7月 5日 中山 伸
2. 実習「カイコの繭の不思議を知る」  
7月19日 中山 伸、末沢伸夫  
9月25日 末沢伸夫、行松啓子
3. 発表 グループ別成果報告  
12月 2日 末沢伸夫、井上佳彦

ここでは、担任の井上教諭が司会・進行する形で12月2日に行われた「まとめの授業、グループ別成果報告会」の内容を報告します。

「カイコの成長や発育、カイコがつくった繭・繭糸の性質」に関して学んだことを、班全体で調べ作り上げあげた内容等を6班に分かれて、1年下の3年生に発表する時の予行演習的なものです。各班のテーマ内容については以下のとおりである。

- ・第1班 カイコ蛾の生活
- ・第2班 カイコの繭
- ・第3班 カイコの仲間について
- ・第4班 人間との関わり
- ・第5班 カイコの特徴
- ・第6班 カイコの特徴と生体を知ろう



図1 成果報告会 発表風景



図2 成果報告会 発表風景



図3 成果報告会 発表風景

図1から3に示す各班の発表は班全体で相談し、作成したカイコ大辞典等を用いて、質問形式を含む形で報告するものであった。

各班の発表が終るたびに、井上教諭・生徒たち、そして我々からの質問や寸評をあり、それを受けて「よかったところ、わかりにくかったところ、こうしたらさらによくなる場所等を井上教諭が指摘する形で授業は進められました。

私もこの「纏めの授業」への参加は3回目となりますが、その都度生徒さんたちの真剣で素直なまなざしに触れさせていただいたことを有難く感じています。

学んだことを当して考え、理解を深めるために、時間をかけ調べて自分のものにする。それを、自分の言葉で発表し、先生を含む仲間たちと語り合うという教育の原点ともいえる授業に参加することができ、生徒さんたちの今回学び、調べ、そして知ることが出来た内容を3年生に伝えたいという態度が前面に出たものでした。

2019年度当時、「まとめの授業」に関して中山 伸理事は、講評として以下のことが述べられています。

「カイコは小さいむしではあるが、人間はその命を頂いて カイコが生産する絹糸を利用させてもらい 着物等をつくっている。カイコの命も人間の命も同じ一つの命、にも関わらず、人間はカイコを利用している。命とは何か、これからも引き続いて命について考えましょう」と講評されていました。

我々公益財団法人 衣笠繊維研究所は、この教育支援事業を遂行するにあたり、この講評を踏まえ、京都市立正親小学校4年生の授業「総合的な学習の時間」への支援事業に取り組んで行きたいと考えています。

## 公開イベント報告

日時：2024年10月13日（日）～15日（火）11時～16時

場所：公益財団法人 衣笠繊維研究所 衣笠会館

本財団の事業目的である繊維産業・社会文化に寄与・貢献する一環として実施している公開イベントも今年で3回目となりました。今年も本財団監事の行松啓子氏（染織作家）の協力を得て開催しました。

### 1. 行松啓子作品展

行松啓子氏自ら「草木染」で染めた絹糸を使って織った「和服」や経糸に自家製座繰生糸、緯糸に自家製座繰玉糸を使用した「帯」などが展示された（図1）。



図1 草木染の作品

### 2. 資料展示・体験

年代は不明だが東南アジアで使われていた原始的な手織の仕掛け（図2）を展示した。また、生糸、生糸の商標、製糸工場の写真、丹後ちりめん、その他の資料（中和株式会社、滝島英男氏、山崎達夫氏らの協力）も展示した（図3）。

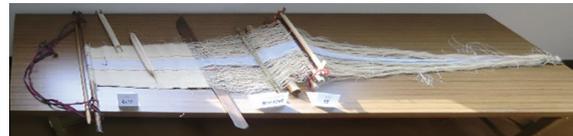


図2 原始的な手織の仕掛け

また、糸繰り体験、手機体験なども実施し、参加者には非常に好評であった。

### 3. 衣笠会館見学会

会館の見学では、PCやプロジェクターを使って衣笠会館の歴史や地域の歴史を説明した。



図3 生糸・製造工場・商標

### 4. ワークショップ

公開イベント2日目に行松啓子氏の指導で7人の参加者に「ストラップ」の制作体験教室を開いた。2時間ほどの体験教室であったが、それぞれ楽しく作品作りを行った（図4）。



図4 ストラップ作り

## 5. まとめ

今年の公開イベントの来館者数は昨年より微増の76名であった（表1）。昨年・一昨年と同様、近隣からの参加者で占められた。昨年に引き続き京都新聞社の後援、京都新聞ドットコムへの掲載に加え、衣笠繊維研究所独自のSNSを立上げPRを行った。



注：府県別の総合計と3日間の来館者総数との違いは、来館者名簿への住所不記載の為である。

（追記）

歴史的価値や文化的価値をもった京都のモダン建築を一般に公開する「京都モダン建築祭」に今年も参加した。「京都モダン建築祭」は、

【前期】11月2日(土)～3日(日祝)

【後期】11月9日(土)～10日(日)

の4日間実施された。京都全体で100施設以上が参加し、のべ44,000人以上の参加者があった。

「衣笠会館」は11月9日(土)・11月10日(日)の2日間参加した。その中での来館者数は1日目285人、2日目305人 合計590人であった。来年もこの「京都モダン建築祭」に参加する予定である。

表1 来館者数比較

		2022年	2023年	2024年
京都	北区	26	12	9
	右京区	10	19	7
	上京区	4	6	3
	その他	10	17	16
	小計	50	54	35
大阪		10	5	8
滋賀		6	4	5
その他		3	3	3
総合計		69	66	51
来館者数	1日目	14	24	29
	2日目	18	25	35
	3日目	19	24	12
	4日目	18	—	—
	5日目	9	—	—
	合計	78	73	76

（報告者：岡田裕伸）

## 2024（令和6）年度 衣笠繊維研究所理事および評議員の活動状況

### 講演および講義活動など

#### 白井孝治

- 1) 演題：まちなかキャンパスうえだ市民向け講座「シルク利用の歴史とカイコ研究」  
日時：2024年11月17日  
内容：養蚕の歴史とくに明治期以降、養蚕業が盛んになった経緯について解説するとともに、現在の養蚕の取り組みやカイコ研究について説明した。

#### 行松啓子

- 1) アイギャラリー企画展『花らんまん』展  
日時：2024年4月8日～14日  
場所：アイギャラリー（大阪市中央区）
- 2) 第28回シャトルクラブTEN「テキスタイルアート」  
日時：2024年5月28日～6月2日  
場所：名古屋市民ギャラリー栄 7階第4展示室（名古屋市中区）
- 3) NPO法人Merry Time体験プログラムにて「子供向け機織り体験・コースター作成」  
日時：2024年7月25日  
場所：NPO法人Merry Time（大阪府箕面市）
- 4) 衣笠繊維研究所公開イベント内での作品展、ワークショップ  
日時：2023年10月21日～23日  
場所：衣笠会館（京都市北区）
- 5) 展示 心斎橋ギャラリー企画展『ゆく年くる年床アート+めでたい壁』展  
日時：2024年12月25日～2025年1月11日  
場所：心斎橋ギャラリー（大阪市中央区）

#### 廉屋 巧・吉田武彦

- 1) 行事：お蚕さんフェスティバル（蚕都Grants・グンゼ博物苑・蚕業遺産研究会共催）  
日時：2024年5月11日（土）～19日（日）＜9日間＞  
場所：グンゼ博物苑集蔵・未来蔵（綾部市）  
内容：①「春のバラまつり」時期（参加者増大）；延べ来場者数＜約1,700名＞  
②展示；蚕（3～5齢）・繭・生糸・蚕具・養蚕関連資料各種  
③講演；(1)福祉支援活動の周知 (2)養蚕文化の継承活動

④ワークショップ；桑摘み体験・給桑体験・座繰り・真綿づくり・繭人形づくり等

## 吉田武彦

- 1) 講演 「おかいこさんの可能性を探る」  
日時 2024年5月12日(日)  
場所 あやベグンゼスクウェア集蔵  
内容 おかいこさんの価値、教育・福祉・歴史・地域づくり
  
- 2) 講演 「江戸時代の和知の養蚕と大原神社」  
日時 2024年5月30日(木)  
場所 京丹波町中央図書館  
内容 江戸時代の京丹波町和知の養蚕・和智糸
  
- 3) 講演 福知山史談会記念講演  
日時 2025年2月9日(日)  
場所 ふくちやま交流プラザ  
内容 「三和とおかいこさん-川合承学校資料室の展示を活用して-
  
- 4) 講義 動植物を使った技術(技術科)  
日時 2024年5月30日(木)、6月4日(火)、12日(水)、17(月)、7月10(水)  
場所 綾部市立東綾中学校 対象 2年生7名  
内容 「東綾中学校敷地にある桑さがし丹波のおかいこさんと人の関わり」「おかいこさんの一生・上族を見る」「おかいこさんを育てる家屋の構造の変化 埋薪炉・空気孔を実感」「繭から糸をとる技術 製糸」「講演 縫合糸の開発」
  
- 5) 講義 養蚕と製糸(総合的な学習の時間)  
日時 2024年5月13日、16日、20日、22日、24日、6月10日、11日、21日、7月4日、17日  
場所 福知山市立三和小学校 対象 4年生10名  
内容 「おかいこさんとは」「蚕の成長、観察」「蚕の世話、蚕具の使い方」「お蚕さんの世話」「養蚕農家の暮らし、訪問蚕高齢者サロン訪問」「民話オシラサマ」「養蚕信仰供養」「カイコガ観察」「郡是出前授業(繊維の種類)」「糸取り」

## 会議及び研究会等への出席

### 行松啓子

#### 1) 福島市文化財調査

日時：2024年4月17日～19日

2024年6月18日～20日

2024年8月20日～22日

2024年10月22日～24日

場所：福島市役所（福島市五老内町）

内容：『福島市における手前織りの織機と絹織物』の次年度以降についての打ち合わせ

### 岡田裕伸

#### 1) 京都府文化財所有者等連絡協議会総会及び研修会

日時：2024年9月3日

場所：知恩院和順会館(京都市東山区)

### 廉屋 巧

#### 1) 蚕業遺産研究会 例会

日時：2024年10月30日（水）

場所：桃映地域公民館（福知山市）

内容：会の活動・お蚕さんフェスティバルのまとめ

## 中山 伸 理事を偲ぶ



公益財団法人 衣笠繊維研究所 中山 伸理事(帝塚山大学名誉教授)は2024年7月31日早朝、心臓疾患のため急逝されました(享年75歳)。

中山理事は京都工芸繊維大学繊維学部を1973年に卒業後、帝塚山短期大学(現帝塚山大学)に奉職されました。帝塚山に勤務しながら、1986年、大阪市立大学(現大阪公立大学)大学院動物生理学研究室で論文博士を目指す機会を得られ、1991年3月、大阪市立大学から理学博士の学位を取得されました。帝塚山大学では、現代生活学部教授、人間環境科学研究所所長、そして2008年から2013年4月まで5年間は帝塚山大学副学長を歴任されました。

2018年5月に当財団の研究担当等理事に就任され、幅広く活躍され現在に至っています。ここでは、担当された研究分野で取り組まれてきた二つの事柄を紹介させていただきます。

ひとつは、本号に記載されています「新聞小説から見た庶民の服装」は、氏が長年温められていた「衣」=服装を、当時の史実・世相を含めた観点から紹介するという切り口で執筆されたものです。第1報では夏目漱石「吾輩は猫である」、第2報では菊池寛「真珠婦人」を調査・研究され、本第28号で執筆予定の尾崎紅葉「金色夜叉」は既に、本年5月に準備をされていました。

また、教育支援事業において京都市立正親小学校での6年間継続しての出前授業を担当されました。

カイコの飼育や絹糸の実験等を通じて、生き物の命の大切さ、そして絹糸の持つ不思議さ等の授業内容は「教えそして導く、そして共に考える」ことを基本とした中山理事のライフワークであった「教育」の思いが込められていたものでした。

2022年度の4年生のみなさんが作られた冊子「中山先生へ ありがとうございます」には生徒さん一人一人からの中山理事に対する感謝を含めた心からの「満足感」があふれた言葉が寄せられています。おそらく、この「ありがとうございます」は中山理事にとって大きな宝であり、大きな喜びであったものと拝察しています。

ここに、中山理事の当財団に対するご貢献に深謝致しますと共に、共に財団理事としての約8年間の時間を共有できたことに仲間の一人として、改めて「お疲れ様でした」の言葉を申し添えます。

(文責 衣笠繊維研究所 井上佳彦)

編集・発行

---

公益財団法人

〒603-8326 京都市北区北野下白梅町 29

衣笠繊維研究所

Tel 075-461-5949

Fax 075-463-6679

URL <http://krf-textile.com>

E-mail [kinugasa\\_senni1905@nifty.com](mailto:kinugasa_senni1905@nifty.com)

---

発行日 2025年3月31日