

〈資料〉

ミイラのドレスに関する法科学研究 (第1報) ドレスの色調、染色物の特性およびドレスの洗い液を用いた ABO式血液型の鑑定

長井 辰男¹⁾、Velta Vorkšone²⁾、Grigory Vabels²⁾

Forensic examination of the dress of a mummy (1) Effect of sunlight on the color of the dress, chemical characteristics of the material's dye, and blood group typing using a washing liquid sample

Tatsuo Nagai¹⁾, Velta Vorkšone²⁾ and Grigory Vabels²⁾

Summary We studied the effect of sunlight on the color of the mummy's dress as a forensic material, the chemical characteristic of the material's dye, and blood typing using a sample of washing liquid.

We examined the color of the forensic material based on the DIC GRAF-G color chart. The analytical method used to examine the material's dye was performed according to a method described by the Japanese Industrial Standards. Blood group typing was also performed using a routine forensic science method.

The color of the forensic material was $C_{70}+M_{80}+Y_{70}+BL_{30}$ (C: cyan, M: magenta, Y: yellow, BL: black) and the inside edge of the lapel was $C_{70}+M_{70}+Y_{70}+BL_{30}$. As a result of having been exposed to sunlight for one month, the amount of magenta had increased. No change in either color was observed three years after the initial examination. The forensic material's dye consisted of a basic dye. Aluminum, silicon, phosphorus, sulfur, potassium, calcium, and iron were detected as a result of the chemical element analysis. The iron was identified as a component of hemoglobin with a post-mortem corruption liquid origin. The blood group A was identified using a sample of washing liquid from the forensic material. When the corruption liquid was egested during cadaveric

¹⁾ 長井医科学研究所
〒337-0042 埼玉県さいたま市見沼区南中野45-6

²⁾ ラトビア共和国国立法医学検査センター

¹⁾ Nagai Medical Science Laboratory. 45-6,
Minaminakano, Minuma-ku, Saitama City, Saitama
Prefecture, 337-0042, Japan

²⁾ State Center for Forensic Medical Examinations of
the Republic of Latvia. 2, Hipokrata Str. Riga, LV-
1038, Republic of Latvia

受付日：2017年5月12日

採択日：2017年6月21日

decomposition, hemoglobin and the blood group substance were diffused along the silk fibers of the clothing, which acted as capillaries.

Key words: Latvian mummy, Baroness von Robb, Effect of sunlight, Mummy's dress, Blood group type

I. 緒言

遺跡や墳墓から織り布が発見されることは、珍しいことではない。古代エジプト第二王朝時代のサッカー遺跡から、死後硬直によって死体の体型が変化しないように保全するため巻いたと考えられる麻の平織の包帯様織り布が発掘された¹⁾。この織り布は、遺跡から発見された最古のもので、放射性炭素年代測定によって既に5000年以上経過したものであることが判明した。

中華人民共和国浙江省呉興縣銭山漾遺跡の発掘調査中に、竹籠の中から赤く染色されたりボン、糸および織り布の断片が発見された²⁾。この中には、*Bombyx mori*由来の、平織で織られた世界最古の絹の織り布が含まれていた。炭素年代測定により紀元前3300～2300年頃のものであった。

エジプトのナイル河流域のタルカン遺跡から、20世紀初頭に麻の「タルカン・ドレス」が発見された³⁾。これは放射性炭素年代測定によって5100～5500年前のエジプト初期王朝時代のものであることが判明し、現存する世界最古の織物の衣服であることが明らかになった。この衣服は時間の経過に伴って脆化し、肩、袖および袖口の生地に破損が、また、部位によっては欠落が生じていた。博物館では、タルカン・ドレスの身丈が膝下までであったとしているが、ウエストの部位の生地が全体的に破損して存在せず、本来のドレスの身丈がどれ位であったのかを鑑定することができなかった。

2016年オランダ北部テセル島で17世紀のシルクのドレスが完璧な保存状態で見つかった⁴⁾。このドレスは、オランダ沖で沈没し、砂地の海底約5 m下に埋まっていた帆船から発見された。ドレスの色調は濃い赤茶色で、襟はスタンドカラー、ハイウエストの位置に布製ベルトが付いた裾の広いドレスであったが、袖付けは普

通で、パフスリーブの袖ではなく、袖口にフリルが付いたものであった。

日本でも出土織布がある。日本の出土織布は墳墓や古墳に副葬された鏡などの金属製品に銹着して残ったもので、錆化によって実体が残らないものを含めると、2,260件ある^{5,6)}。布目⁷⁾は、出土した甕棺の最上面に位置する遺骨や副葬品に布片が付着していたこと、織り目が粗く、透かし織りで三重に重ねられた状態であったこと、および布の素材は腐朽し灰化状となっていたと報告している。

既述のように、国の内外において出土した織物の多くは部分的な物であり、被葬者が身に付けていた着衣そのものが完全な形で残っている事例は極めて少ない。

一方、北部ヨーロッパのラトビア共和国リガに、ハンザ同盟時代のドイツ人墓地 (Lielie kapi墓地) がある。この墓地から、被葬者がドレスを着用し、没年、性別、名前および夫の爵位の明らかなミイラが発見された。エジプトのミイラ作成時のように、死体に人為的な加工を加えず、自然に出来た既述の情報を持つミイラは、法科学的に極めて貴重な資料である。

我々は、既に、ラトビア共和国国立法医学検査センターから既述のミイラの骨髄を提供され、細胞中にミトコンドリアDNA (mtDNA) のHVR IおよびHVR IIの塩基配列をダイレクトシーケンシング法によって明らかにした⁸⁾。陳旧サンプルは、残存するDNA量が少なく断片化されていることが多いが、当該ミイラのmtDNAは新鮮な血液から抽出したmtDNAと同じ長さの増幅が可能であった。

今回、我々は、ラトビアミイラが着用していたドレスの色調、着色材料の特性、自然光による影響およびドレスの洗い液を用いたABO式血液型の鑑定について法科学的に研究したので報告する。また、木棺の中における被葬者の腐敗現象とドレスの関係について考察する。さら

に、日本の被葬者が着用した白袴は原状を留めず腐敗し、甕棺、副葬品および人骨に付着した状態で発見されることも法科学の立場から合わせて考察する。

II. 材料と方法

1. 鑑定資料

ラトビア共和国は、13世紀ドイツのリボニア帯剣騎士団およびそれを併合したドイツ騎士団による東方植民地政策で、キリスト教化が推し進められた⁹⁾。首都のリガはこの時に建設された。ドイツ人およびその子孫は、ラトビアに定住してバルト・ドイツ人を形成し、20世紀までこの地を支配した⁹⁾。既述の理由で、リガにはハンザ同盟時代に入植したドイツ人の広大な墓地 (Lielie Kapi墓地) がある。その墓地には、石造りの十字架と墓誌のほか、高貴な人物が使用した家族用の霊廟、廃墟となったギルド・メンバーが共同で使用した霊廟および廃墟となった教会が残っていた。

高貴な人物が使用した家族用の霊廟 (Fig. 1) は、地上1階、地下1階で構成されていた。地上部分は礼拝場で、その入口の石柱は彫刻で装飾されていた。入口の上部には明り取りが設置されており、入口の両側の石造りの外壁には、装飾された窓が彫刻されていた。霊廟の前面或いは側面に通気口が付いていた。地下室は、木棺を安置するための場所で、外部から見る事ができなかったが、中央には木棺を安置するため



Fig.1 A mausoleum in the Lielie kapi graveyard in Riga, Latvia.

This mausoleum did not belong to the German baroness, but is thought to be similar.

地面から高い位置に基盤が設置されていた。

第二次世界大戦当時およびそれ以降に、霊廟は破壊され、墓石や副葬品は略奪された。その後、リガ市議会は大部分の霊廟を解体し、石造りの十字架と墓誌および一部の高貴な人物が使用した霊廟だけを残し、「史跡公園」を建設するという都市整備事業計画を立案した。この事業計画に基づいて1950年代後半から1960年代前半にかけて工事が施行され、ドイツの男爵家の霊廟も解体されることになった。1960年、作業員が地下室の基盤の上に砂埃にまみれた状態で安置されていた木棺から、ドレスを着用し、暗褐色に変色し革皮様化した一次性ミイラ (死体の腐敗が進行する前にミイラ化への方向が決まったミイラ) が発見された。それをラトビア共和国国立法医学検査センターへ移送した。ミイラは、下着を付けず直接ドレスを着用し、両手に布製の手袋をはめた状態で「Baroness von Robb, 1743」と刻まれた識別プレートの付いた木棺に納棺された状態で安置されていた。また、被葬者はドイツの男爵婦人で、名前はロバ、性別は女性、没年は1743年であることが明らかになった。

我々は、被葬者が着用していたドレスを鑑定資料として用いた。法科学領域では、鑑定対象となる「試料」は多種多様なものがあるので、鑑定には「試料」という単語を使用せず「資料」を用いている。当該論文はそれに従い当該ミイラが着用していたドレスは「鑑定資料」と記載した。

鑑定資料 (Fig. 2A, B) の襟は、スタンドカラーで、パフスリーブ袖に同素材の布製包みぼたんのカフスが付き、ハイウエストの位置に同素材の布製ベルトが付いた裾の広いドレスで、背部は召合せ造りであった。鑑定資料の色調は、被葬者の棺内における死後変化との関係を合わせて解析した。

2. 試薬

血液型診断用抗A抗B抗体は、オーソ・クリニカル・ダイアグノスチックの人由来ポリクローナル抗体 (力価512単位) を用いた。抗ヒトヘモグロビン・ウサギ抗体およびアルカリ・フォスファターゼ標識抗ウサギIgG・ヤギ抗体はダコ・ジャパンのものを用いた。メタノールは



Fig.2 Mummy of the German baroness Robb, who wore a modern dress and was discovered in a mausoleum. A: View of the mummy lying on her side while wearing a dress; the general appearance of the dress can be seen.; B: Anterior surface of the dress. The remains of the German baroness Robb were dressed in a modern dress and placed in a coffin. The dress was typical of that worn by an upper-class matron in the mid-18th century, characterized by a standing collar, puff sleeves, and cuffs made from a cloth similar to that of the dress. The dress had a high waist, with a belt made from a similar material. The dress reflected the times and was quality.

和光純薬工業の高速液体クロマトグラフィー分析レベルのものを用いた。その他の一般試薬は、和光純薬工業のものを用いた。

3. 鑑定資料の色調の鑑別

鑑定資料の色調は、印刷用プロセスカラーインキ（DIC GRAF-G 4原色インキ）を使用し、あらゆる色彩をアミ点（カラーチャートは、縦軸および横軸の色素の濃度をそれぞれ0%～100%までの12階調で印刷している。この縦軸および横軸の濃度がアミ点濃度である）の階調濃度で表現した色再現のための基本スケールとして常用されているDIC GRAF-Gカラーチャート¹⁰⁾と対比して調べた。

また、鑑定資料の表地および布端の折り曲げた内側の部分の小片を30日間および3年間、ガラスシャーレに入れて窓側の机上に置き、自然光に暴露して生じた色調の変化を既述のDIC GRAF-Gカラーチャート¹⁰⁾と対比して調べた。

4. 鑑定資料から染色物の抽出法

鑑定資料から染色物の抽出は、JIS L 1030-1¹¹⁾に準拠し、鑑定資料100 mgに対し各溶液を2.0 mL加え、以下の条件下で抽出した。

i) 1 mol/L HCl・メタノール等量混合液を加

え一夜静置後、50℃で4時間加温した。

ii) 蒸留水を加え一夜静置後、0.5%になるように酢酸を加え、20分間煮沸した。

iii) 蒸留水を加え一夜静置後、8%になるように炭酸カリウムを加え、室温で2時間静置した。

iv) クロロホルムを加え、一夜静置した。

v) 0.1 mol/L NaOHを加え一夜静置後、70℃で7時間加温した。

vi) 20% ギ酸・メタノール等量混合液を加え一夜静置後、70℃で7時間加温した。

vii) エーテルを加え、時々攪拌しながら2時間静置した。

viii) 蒸留水を加え、80℃で5分おきに攪拌しながら30分間加温した。

ix) 0.1% NaOHを加え一夜静置後、70℃で9時間加温した。

x) 1% 炭酸ナトリウム溶液を加え、1時間煮沸した。

5. 吸光度測定

吸光度測定は以下の条件下で実施した。

分析機器：Hitachi Spectrophotometer 220A（日立製作所）

測定波長：250 nm - 800 nm

6. 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 分析

HPLCは以下の条件下で実施した。

分析機器：東ソー PD-8020 (東ソー)

カラム：Inertsil ODS-2 (GLサイエンス)

カラム温度：40℃

溶離液：メタノール / 0.01 mol/Lリン酸緩衝液 (pH 2.6) = A / B

グラジエント条件：リニアグラジエント (A / B = 40 / 60 → 95 / 5, 20分)

流速：1 mL / min

注入量：5 μL

検出器：D2

7. 赤外吸収スペクトル測定

赤外吸収スペクトルの測定試験は、JIS L 1030-1¹¹⁾ に準拠して実施した。

分析機器：Shimadzu IR Prestige-21 (島津製作所)

試料調整法：臭化カリウム錠剤法を用いた。

8. 薄層クロマトグラフィー (TLC) 分析

TLC分析は、JIS L 1030-1¹¹⁾ に準拠して実施した。

薄層プレート：Whatman KC₁₈ Fタイプ (ワットマン)

展開溶媒

n-ブタノール / 酢酸 / 蒸留水 = 5 / 2 / 3

n-ブタノール / ギ酸 / 蒸留水 = 15 / 3 / 2

ピリジン / n-ブタノール / 蒸留水 = 3 / 4 / 7

ピリジン / n-ブタノール / 蒸留水 = 3 / 2 / 3

酢酸エチル / ピリジン / アンモニア = 5 / 2 / 1

酢酸エチル / メタノール / アンモニア = 5 / 2 / 1

呈色試薬

濃硫酸

ニンヒドリン試薬

(1) 0.2% ニンヒドリン・エタノール 5 mL

酢酸 1 mL

(2) 1% 硫酸銅・エタノール

使用前に (1) / (2) = 50 / 3 に調整して使用した。

濃硝酸

9. 染色物の染料部属判定方法

鑑定資料が絹織維品であることを鑑別した後、JIS L 1065¹¹⁾ に準拠して染料部属判定を實

施した。すなわち、予備試験 (処理液に蒸留水、エチルアルコール、氷酢酸、および濃アンモニア水を用いた連続抽出試験、単独アンモニアによる抽出試験、灰化などによる金属反応試験) を行い、次いで直接染料の判定、酸性染料の判定、塩基性染料の判定、酸性媒染染料の判定、1 : 1形および1 : 2形の金属錯塩酸性染料の判定、反応染料の判定を行った。

10. 元素分析

元素分析は以下の条件下で実施した。

分析機器：精工電子SEA 5120 (セイコーインスツル)

分析時間：300秒

有効時間

鑑定資料 = 227秒

JIS規格標準絹 = 221秒

試料室：真空

コリメータ：φ = 1.8 mm

励起電圧：15 kV

管電流：116 μA

11. ドットプロット法

鑑定資料の洗い液を用いた。陽性コントロールはヒトヘモグロビン (Hb) 溶液 (Hb濃度 = 12.0 g/dL) を用いた。メタノールおよびプロッティング緩衝液 (50 mmol/L リン酸緩衝液pH 7.4) で平衡化したプロッティング膜 (メルク)、蒸留水に浸したろ紙の上に置きアスピレーターで引きながら毛细管を用いて試料をドットした。

このプロッティング膜をスキムミルクでコーティングし、一次抗体に抗ヒトHb・ウサギ抗体 (ダコ・ジャパン)、二次抗体にアルカリホスファターゼ標識抗ウサギIgG・ヤギ抗体 (ダコ・ジャパン) を用いた。Tween-20加50 mmol/L リン酸緩衝液pH 7.4で10分間ずつ3回洗浄後、0.40 mol/L 5-Bromo-4-chloro-3-indolyl phosphate, 4 toluidine salt (BCIP; ペーリンガー・インゲルハイム) およびNitroblue tetrazolium chloride (NBT; ペーリンガー・インゲルハイム) で発色させた。

12. 吸収試験

鑑定資料の洗い液をガーゼに滴下し、乾燥さ

せたものをメタノール固定して用いた。対照として、未使用無染色のJIS規格標準絹に蒸留水を滴下し、乾燥させたものを同様に処理し用いた。鑑定資料およびJIS規格標準絹を5 mm角の大きさに切り、それぞれ試験管3本ずつに入れた。力価8単位の抗A、抗B血清および抗Hレクチンを各々0.15 mLずつ加え、37℃、2時間反応後、室温で2時間反応させ、さらに4℃で一夜静置した。各抗血清およびレクチンに対応する型の2% 血球浮遊液をパスツールピペットで一滴ずつ加え、30分後に凝集の有無を確認しABO式血液型を判定した。

13. 吸収分離試験

鑑定資料の洗い液をガーゼに滴下し、乾燥させたものをメタノールで固定した。対照は、未使用無染色のJIS規格標準絹に蒸留水を滴下し乾燥させたものを同様に処理し用いた。鑑定資料およびJIS規格標準絹を5 mm角の大きさに切り、それぞれ試験管3本ずつに入れた。抗A、抗B血清および抗Hレクチンを各0.1 mLずつ加え、37℃ 2時間反応後、室温で1時間反応させ、さらに4℃で一夜静置した。冷生理食塩水で3回洗浄後、各抗血清およびレクチンに対応する型の0.4% 血球浮遊液をパスツールピペットで2滴ずつ加えた。50℃で10分間加熱後、1000 rpmで1分間遠心し、凝集の有無を確認しABO式血液型を判定した。

Ⅲ. 結果

1. 鑑定資料の状態および色調

鑑定資料は、217年間、木棺は一度も開けられたことが無かった。鑑定資料は木棺の中で死体の腐敗現象にさらされたが、人為的な損傷や汚染および昆虫による染みや食害による被害が見られず、当時の形状を維持していた。

鑑定資料の色調は、DIC GRAF-Gカラーチャート¹⁰⁾で調べた結果、黄色が加わった濃い茶褐色C₇₀+M₈₀+Y₇₀+BL₃₀ (C : indigo blue, M : crimson, Y : yellow, BL : black)であった。また、布の折り返し部分の内側の色調は、やや淡くC₇₀+M₇₀+Y₇₀+BL₃₀であった。

鑑定資料の小片をガラスシャーレに入れ、30日間自然光(太陽光)に暴露し、色調の変化を

既述のDIC GRAF-Gカラーチャート¹⁰⁾と対比して調べた結果、色調はC₇₀+M₉₀+Y₇₀+BL₃₀に変化し、深紅色(M)の割合が増加し、肉眼的には褐色が増した。しかし、3年間自然光に暴露しても色調はC₇₀+M₉₀+Y₇₀+BL₃₀から変化することは無かった。

2. 鑑定資料の着色物の分析

鑑定資料の着色物を明らかにするため、溶媒に1 mol/L HCl・メタノール等量混合液を用いて抽出した。抽出液の吸光度を測定した結果、吸収波長540 nmでシオルダーが認められたが、特異吸収波長は認められなかった。HPLC分析の結果も特異吸収波長は認められなかった。

鑑定資料の着色物の抽出液は、JIS L 1030-1¹¹⁾の資料抽出方法に準拠し、臭化カリウム錠剤を調整した。その赤外線吸収スペクトルを測定した結果、Fig. 3に矢印で示したように、JIS L 1030-1¹¹⁾に掲載されている練絹特有の3300、2950、1710 ~ 1630、1530 ~ 1500、1440 cm⁻¹の吸収帯およびシャープな特性波数がみられた。しかし、これらの特異吸収帯及び特異吸収波長は練絹特有のものであり、それ以外の着色物の吸収および練絹以外の繊維特有の吸収は認められなかった (Fig. 3)。

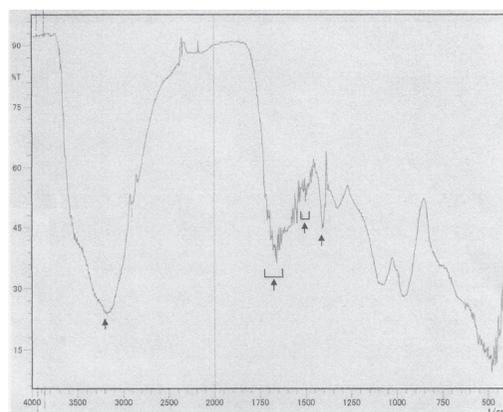


Fig.3 Infrared absorption spectrum of washing liquid from the forensic material. We made a KBr disk of the washing liquid from the forensic material according to the JIS L1030-1 method. The infrared absorption spectrum that was identified was peculiar for glossed silk. No specific absorption band for the dye used to color the forensic material was identified.

数種類の展開溶媒を用いてTLCを行った結果、1% 炭酸ナトリウム溶液を用いた鑑定資料の着色物の抽出液をピリジン/エタノール/蒸留水 = 3/2/3で展開した場合のみRf値 = 0.694のスポットが認められた。しかし、このスポットは完全に分離せず、テーリングが認められ、原点にも色素が残った。このRf = 0.694のスポットは、濃硫酸、ニンヒドリン試薬および濃硝酸による呈色反応で陽性を示した。

JIS L 1030 -1¹¹⁾ に準拠して鑑定資料が絹であることを確認した。そこで、JIS L 1065の方法¹¹⁾ に準拠して絹の染色物の染料部属判定の予備試験を行った。連続抽出試験は、処理液1-A

(蒸留水)、処理液1-B (エチルアルコール)、処理液1-C (氷酢酸) および処理液1-D (濃アンモニア水) を用いて連続抽出した。その結果、鑑定資料の染色物は処理液1-Aで若干抽出され、その色調は淡い黄色であった。処理液1-Bで連続抽出を行った結果、黄色の着色物が得られた。処理液1-Cで連続抽出を行った場合、抽出液は速やかに橙色の着色物が得られた。処理液1-Dで鑑定資料の染色物は速やかに抽出され、抽出液の色調は茶色であった。また、単独アンモニア抽出試験の結果、鑑定資料の色素は速やかに抽出され、色調は茶色であった。

予備試験の結果、1-Bおよび1-Cの両抽出液が著しく着色し、1-A抽出液にも時に着色が見られるときは塩基性染料が使用されている可能性がある。鑑定資料から抽出した色素を用いてタンニン媒染綿布の染色を行った結果、濃い肌色に着色したので、塩基性染料であることが判明した。鑑定資料の着色物が酸性染料及び直接染料であるか否かを検討した。着色物は速やかに1-Cで濃い橙色に着色したので除外した。酸性媒染染料および1:1形および1:2形の金属錯塩酸性染料であるか否かを判定した結果、いずれも白綿布は着色しなかったが、灰中にCr、CoおよびMnのいずれも検出されなかったので除外した。

元素分析の結果、JIS標準絹では繭層に含まれているSが検出された。鑑定資料ではAl、P、S、K、FeおよびSiが検出された (Fig. 4)。

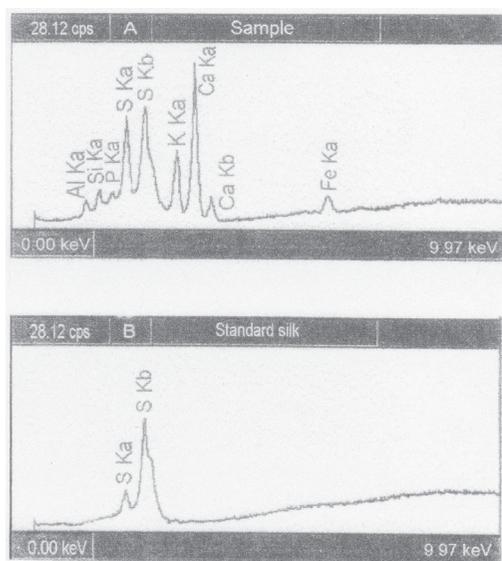


Fig.4 Analysis of the washing liquid from the forensic material using fluorescent X-rays. Sulfur, which is a main component of silk cocoon, was detected in the forensic material and the JIS standard silk washing liquid. Aluminum and silicon, which are included in the cocoon layer, and phosphorus were detected in the washing liquid from the forensic material. Iron was detected in small quantities. The detected elements were all trace minerals included in soil. When the washing liquid was reacted with anti-human hemoglobin, the forensic material tested, negative. However, a dot blot analysis confirmed the presence of an extremely small quantity of hemoglobin. Therefore, the Fe was determined to have originated from blood.

3. 鑑定資料の血液型の判定

鑑定資料の洗い液に抗ヒトヘモグロビン抗体を反応させた結果、陰性であった。次に鑑定資料の洗い液を用いてドットプロットを行った結果、ヒトヘモグロビンの存在が確認された。また、鑑定資料の洗い液を用いて吸収試験および吸収解離試験を行った結果、当該ミイラのABO式血液型はA型であった。

IV. 考察

初めに、被葬者ロバは木棺の中で死体現象が進行したにもかかわらずミイラになり、鑑定資料を腐敗させることなく1743年(死亡年)から1960年(発見された年)までの間、保全されて

いたのかを考えてみたい。

人間の生から死への移行は、瞬間的に死ぬのではなく、重症な状態から徐々に、あるいは急速に、呼吸や心機能が外見上無くなったように見え、反射に対して無反応状態に陥る。こうして死の段階に入る。確実な死の徴候は、医師が臨床的に死を宣告する時に利用してきた徴候である。

死体は早期の死体現象（死斑形成、死体硬直、体温の冷却、乾燥）を示している一方で、自らが分解していく過程に入る。この過程には自己融解、腐敗などの現象が関与する。また、血液の循環が死によって完全に停止すると、血液のみならず組織液も重力によって沈下する。毛細血管は血液によって充満し、死斑を形成する。しかも、皮膚面から水分が蒸発していくので、特に外気に露出し、上向きにした死体の顔面は乾燥が早い。皮膚は特に乾燥が強く、黄色から黄褐色、さらに褐色と変色し、なめし革のように硬くなる。

火葬しなければ、納棺された死体は木棺の中でも死体の自己融解および腐敗現象が進み、腹部に貯留した腐敗ガス圧が高くなると、このガス圧で腐敗ガスと共に腐敗液が肛門、口、鼻腔などから一気に体外へ排出される。当然、鑑定資料はこの腐敗液によって汚染され影響を受けたことが予想される。したがって、鑑定資料を正確に鑑定するには、死体の死後変化を無視することが出来ない。何故なら、死体の腐敗の速度は、外的および内的条件によって著しく左右されるからである¹⁾。例えば、死体の腐敗が進行する速度は、空中、水中および土中において、8:2:1の割合であるから、空気に接している死体より土の中の死体の腐敗速度が遅いのである²⁾。このように、死体は置かれた状況によって腐敗の速度が異なる。木棺の中でおこる死体の死後変化の程度および進行速度も全ての死体で異なることは同じである。

鑑定資料も直接あるいは間接に腐敗現象の影響を受けたことは明らかである。ドイツの男爵夫人ロバの死体は、木棺の中で次のような分解過程を経てミイラ化したものと考えられる。

①自己融解

個体死によって個々の細胞が持っている多くの酵素が活性化す。やがて細胞は酵素作用を

制御できなくなり、周囲の組織まで無菌的に消化する。細胞内の酵素の活性化は、主に体内のpHの変化によるものと考えられている。死後、各細胞は無酸素状態でグリコーゲンから乳糖に分解（解糖）し、エネルギーの保持をはかるが、産生された乳糖によってpHが酸性に傾くと、細胞内のpHが低下し、体液中および細胞内の蛋白質分解酵素をはじめ、エステラーゼの活性が高まる。一方、全ての細胞は、死後細胞膜の透過性が増加し、赤血球のヘモグロビンが漏れ出し、血管内膜にしみ込んでいく。

しかし、鑑定資料の場合は、両脚の膝関節の下方が切断されていたので、大部分の循環血液は体外に流出したと考えられる。したがって、ごく一部の循環血液と臓器の血管系に停滞している血液だけが体内に残っている状態であった。さらに、細胞の内外において無制限に物質交換が行われ、自己融解が促進した。死後体内の蛋白質分解酵素および各種エステラーゼ、解糖系酵素の作用が高まって、高分子物質が低分子の物質に変化した。これらは、各種細菌および真菌の増殖のための栄養の供給源となるが、この段階は、被葬者の体内で起こっていることであるから、鑑定資料はまだ腐敗液による汚染の影響を受けていない。

②早期死体現象

死斑形成、死後硬直、体温降下、乾燥などが進行し、さらに分解していく過程に入ったが、この段階では、鑑定資料はまだ腐敗液による汚染の影響を受けていない。

③腐敗現象

一般に24～72時間で体表面が緑色を帯びてくる。これが腐敗の肉眼的所見の出発点である。夏季は早い場合、腹壁の右下腹部に6～12時間で薄い緑色が表れ、腐敗臭がすることも稀ではない。これは、死体が置かれた環境の違いによって生じたものであるが、個々の死体で腐敗現象の進行速度が異なるのは言うまでもない。体表面が緑色を帯びてくるのは、ヘモグロビンと硫化水素が結合した硫化ヘモグロビンによるものである。腐敗は、遺体の分解に最も効果のあるプロセスで、細菌酵素による還元作用を主体とする物質の分解作用が著しい。このため、メタンガス、硫化水素、アンモニアの発生が激しくなる。皮膚、気道、胃、腸管などに常在する

細菌の他に病原菌が血管内に浸入し、全身にばらまかれる。

鑑定資料の場合は、両脚の膝関節の下方が鋭利な刃物で切断されていたことから、相当量の出血があったことが考えられる。したがって、一般の死体と異なり、速やかに皮膚の乾燥が進行し、腐敗の速度が遅れ、各細菌に特有な硫化水素、アンモニア、インドール、スカトールなどの腐敗ガスおよび色素などの産生量も少なかったものと考えられる。

腐敗ガスは、まず、腸管内で出来る。腐敗ガスの中の硫化水素は、徐々に腸管壁にあるヘモグロビンと結合し、硫化ヘモグロビンをつくる。さらに、腸管内の腐敗ガス圧が上昇すると、硫化ヘモグロビンは外部に排出される。ガスが発生する量によって、腹壁に加わる内圧が変わるが、この圧の高低が腐敗液を体外に排泄する量と排泄スピードに影響する。その結果、鑑定資料の汚染状態が変わってくる。すなわち、鑑定資料は硫化ヘモグロビンを含む腐敗液の影響を受けるが、その程度は微生物のガス産生能力によって影響を受ける。

鑑定資料の場合、死体は、腹部に貯留したガス圧で腐敗液が一度に爆発的に木棺の中に排出したのではなく、既述の理由で少量ずつ死体から排出された。腐敗液の大部分は木棺の底にあげられている穴から外部へ流出したが、流出した腐敗液の一部は鑑定資料の上に直接排泄され、鑑定資料の練絹の生地を構成しているたて糸およびよこ糸の間、さらに、たて糸およびよこ糸を構成している繊維の隙間を毛細管現象で拡散したと考えられる。この仮説を実証するため、鑑定資料の洗い液と抗ヒトヘモグロビンを反応させたが、その結果「陰性」であった。

しかし、洗い液をドットプロットした後に抗ヒトヘモグロビンと反応させた結果「陽性」であった。したがって、血液由来のヘモグロビンが腐敗液に混じって死体から体外へと排出され、それが既述のように毛細管現象で鑑定資料が汚染されたことは事実であった。しかし、死後ごく短時間に皮膚の乾燥が迅速に進行してしまい、一般の死体より腐敗現象が進むことなく、一次性ミイラ化へと進行したものと考えられる。

一般には、死後1～2週間経過すると、さら

に緑色が広がり、ガスの発生が著しく、全身が膨れあがり、血液や血性腐敗液が口および鼻などから漏出するのが普通であるが、鑑定資料は、両脚の切断により循環血液量相当の血液が出血によって失われており、ミイラ化しやすい条件が整っており、腐敗から保全するのに大いに役立った。また、織布の中でも絹は腐敗しにくい性質を持つ。このことも腐敗からの鑑定資料を保全するのに役立った要因の一つである。腐敗液は少しずつ木棺の中へ排出されたが、木棺の中に大量貯留することが無く、木棺の底の穴から流出したこと、この木棺を安置していた地下室は、地盤が砂と石灰岩で吸湿性が高く、微生物が増殖しにくい環境であったこと、室内の空気が乾燥しており死体が乾燥しやすい環境であったこと、バルト海の影響でリガの年間最高気温の平均は9.7℃、年間最低気温の平均は2.3℃、年間降水量は633 mmで高温多湿ではなかった。霊廟の地下室は乾燥していた。また、木棺が安置されていた霊廟の地下室の温度や棺を置いた基盤の角度等が幸いし、腐敗液の木棺外への排出が順調に行われ、汚染から鑑定資料を守ることができたものと考えられる。したがって、鑑定資料の汚染が最小限で済んだものと考えられる。

一方、日本では、縄文時代初期から麻が使われ、弥生時代には絹織物が登場した。吉野ヶ里遺跡の出土布から家蚕の絹織物および麻織物が出土している¹²⁻¹⁴⁾。日本の出土織布の多くは、墳墓や古墳に副葬された鏡などの金属製品に銹着して残ったものであるが、錆化によって実体が残らないものを含めると、2,260件の報告例がある⁵⁶⁾。大部分の論文は観察所見のみで、繊維の材質や織りの技法について専門的に分析したものは極一部であった。考古学者が遺跡の甕棺等から発見された布片を鑑定し論文にしているものも少なくなかった。被葬者の頭蓋骨及び副葬品などに絹織物が付着した例は少なからずあった¹²⁻¹⁴⁾。布目は人骨に付着していたものは甚だしく崩壊していて、判別に苦むようなものがほとんどであった^{13,14)} というが、既述のように、死体は死後分解する。土葬した場合は、土壌のpHと骨格の保存性の関係が重要である。pH 6以下の酸性土壌では人骨が溶けやすく、残りにくいとされているが、ヨーロッパでは、

pH 5前後の酸性土壌でも動物の骨が残っていた例がある。また、酸性の湖沼でもタンニン酸で皮膚がなめされたように変色していた死体が残っていた例もある。

日本で見られる甕棺は、死体から放出された腐敗液が全く甕棺の外に流出することが無く、着衣および副葬品は腐敗液の中で死体と共にさらに腐敗し続ける。腐敗液と共に死体から排出された微生物は、恒常期に至るまで増殖する。腐敗液の水分は甕棺の上部から蒸発するのみである。したがって、腐敗の期間が長く、着衣は腐敗し原型を留めることはないのは当然である。日本の遺跡から遺骨や甕棺に付着した絹布や麻布が見つかるが、完全な着衣が発見されることが無いのはそのためである。すなわち、死体の有機物と共に着衣や副葬品も腐敗・分解し、水分が甕棺の上部から蒸発するのみで、着衣や副葬品の分解産物の一部が浮き上がり、それが頭蓋骨の上部に付着し、乾燥し残存した物を考古学者が確認したので遺骨に付着した原型を留めないような布片が見つかるのは当然のことである。しかし、日本の論文には、日本は湿気が多いからということを理由にあげ、遺跡から出土した織物の考察に被葬者の腐敗現象との関係についての考察が見られない。

鑑定資料の表地の色調は、濃い茶褐色 $C_{70}+M_{50}+Y_{70}+BL_{30}$ (C : indigo blue, M : crimson, Y : yellow, BL : black) であった (Fig. 2A, B)。生地 of 布端の折り返し部分の内側は $C_{70}+M_{70}+Y_{70}+BL_{30}$ (C : indigo blue, M : crimson, Y : yellow, BL : black) で、表側のより赤系の色が少なかった。このような色調の違いが1743年当時の色調か否かを判断することは難しいが、これを補足するために、鑑定資料を直射日光に暴露することによって両者の生地の色調がどの様に変化するかを調べた。鑑定資料をガラスのシャーレに入れ、30日間机上で自由に直射日光に暴露したところ、生地 of 表側および折り返し部分の内側の色調は、いずれも $C_{70}+M_{90}+Y_{70}+BL_{30}$ (C : indigo blue, M : crimson, Y : yellow, BL : black) に変化した。すなわち、深紅色 (M) の数値だけが80または70から90に増加した。このことは、鑑定資料は太陽光線の影響によって変色した。したがって、この実験を始めた時点で鑑定資料は変色を完全に終えたのではなく、未だ変色す

る可能性を残したレベルにあったと云える。さらに実験を継続して3年間、鑑定資料を直射日光に暴露した。しかし、生地の色調はそれ以上変化することなく $C_{70}+M_{90}+Y_{70}+BL_{30}$ (C : indigo blue, M : crimson, Y : yellow, BL : black) のままであった。

この実験の結果、①光に暴露することによって鑑定資料の色調は赤系に変化した。②色調変化は初期に急激に進み後に次第にゆるやかになった。③絹のキサントプロテイン反応を呈するものはチロシンであるから、チロシンのフェノール性OHのオルソ位置は光による影響を容易に受けやすく、オルソの位置の酸化は絹糸の内部にまで透徹した。④インドールの示すエールリッヒ反応は光の直接照射した面にのみ顕著に表れた⑤絹が光によって変質する場合の化学変化は、糸の表面にある極めて自由な一部のチロシンからインドール核を生成した。しかし、その他のものはニトロ化されにくいレベルの酸化を受ける。そして、インドール核をつくらぬ程度の中間形態をなすものと考えられた。

一方、文献的に日本の遺跡から出土した絹の色調は、器物に付着するか遊離の状態出土したもの of 多くは、脆化による織物自体の黄褐色変に、さらに器物の錆の色が加わり複雑な色合いになっている場合が多いのに対し、人骨に付着して出たもの of 多くは、白、赤白椽、黄椽など、絹自体の黄褐色変の初期にみられる色に近い色合いであり、稀に褐色ないし焦茶色のものもある^{13,14)}。比久尼原横穴群第V号穴から出た1体の女性遺骨に付着した織物は、模様は無く、今の色は赤白椽であったが、もとは白色であったと思われると報告している^{13,14)}。これは紫外線の影響以上に死体の腐敗液による影響を考慮すべきである。

絹はプラスやマイナスの電気を帯びている部分があるが、どの様な染料を用いて染色したのだろうか。染料とは、色を持つ物質 (色素) のうち、繊維に対して染着力 (染まり着く力) を持つ物質である。また、染色とは基本的には水溶性の染料分子と繊維の分子間の親和性に基づく現象である。親和性とは、分子の持つ電気的なプラスとマイナスの吸引力や、分子同士の引力に基づく力である。染色される繊維の種類は、それぞれの繊維の分子の化学的性質により

その染色性が支配されるので、染色したい繊維に対して適した染料を選ぶ必要がある。絹は多くの天然染料に良く染まるが、木綿は染まりにくい。これは、染料の分子がプラスやマイナスの電気を帯びており、帯電している部分のある繊維にプラスとマイナスの吸引力で結合するからである。染料分子と繊維分子の間の親和性が弱い場合は、両者を仲立ちする媒染剤を使うことで染色する場合がある。染色では媒染剤に金属イオンや様々な有機物が用いられる。また、いったん繊維の分子の間に入り込んだ染料の分子が、水に溶けるといった性質を失うことで、染色される（洗っても落ちない）場合もある。

JIS L 1065¹¹⁾ に繊維鑑別法が掲載されている。鑑定資料の色素抽出液は、黄色をおびた濃い茶褐色で、吸光度測定およびHPLC分析の結果、いずれも特異吸収波長は確認されず染色物の同定は出来なかった。その赤外吸収スペクトルの測定試験の項に各種繊維の臭化カリウム錠剤法による赤外吸収スペクトルによる主な吸収帯および特性波数が示されている。我々は、JISハンドブック (31) 繊維¹¹⁾ に掲載されている練絹特有の吸収帯およびシャープな特性波数および鑑定資料の色素抽出液の赤外吸収スペクトルによる主な吸収帯および特性波数を対比した結果、練絹のそれと同様の吸収帯が認められた。しかし、その他の繊維および色素特有の吸収帯は認められなかった (Fig. 3)。

色素抽出溶媒を検討しTLC分析を行った結果、1% 炭酸ナトリウム溶液を用いた色素抽出液のスポットが認められた。呈色反応によって、このスポットは芳香族アミノ酸であった。絹アミノ酸の中でもトリプトファンは分解してメラニン様物質となり、繊維の黄ばみを起す¹⁵⁻¹⁹⁾ ことから、このスポットは黄ばみを起した芳香族アミノ酸である可能性も皆無ではない。しかし、ほとんど原点に色素が残ったままであった。

絹は多くの部属の染料と親和性があることから染色物の染料部属判定方法が、JIS L 1065¹¹⁾ に掲載されている。絹染色に用いられる染料は酸性染料、塩基性染料、反応性染料、媒染染料、可溶性建て染め染料、植物性染料などである²⁰⁾。現在、警察庁科学警察研究所において、染色物の染料部属判定を行う時にもこの方法を用いている。我々もこの方法に準拠して染料部

属の判定を行った。その結果、塩基性染料であった。

一般に、植物抽出液だけでは糸や生地を染めても脱色しやすく、媒染剤を用いることによって、染まり易くする、発色させる、定着力を高めるなどの効果が得られる。したがって、媒染剤を明らかにすることは、染料の同定や技法の考察において重要な手掛かりとなる。蛍光X線を用いた媒染剤の元素分析の結果、鑑定資料からAl、Si、P、S、K、Ca、Feが検出された。Caは特に多量であったことから、木棺が置かれていた地下室の床の土の可能性が示唆された。Sは絹灰分の主成分元素であり²¹⁾、Al、SiおよびPは繭層や生糸に相当量含まれている²¹⁾。また、検出された元素は、土砂の中にも含まれていることがあり、当該ミイラが発見されたのがバルト海沿岸の都市の墓地で、地盤が砂と石灰岩であることを考慮すると、媒染剤由来の元素であるか否かの特定は難しい。Feを媒染剤として用いた場合、Kに比べFeが多量に検出されることが知られている²²⁾。しかし、我々は鑑定資料にはFeが少なかったことから、鉄媒染の可能性は低い。Feは腐敗液に混じって排泄された血液に由来する物であると考えている。我々は当該ミイラの両足が鋭利な刃物で切断され膝関節以下が存在しなかったことに注目した。鑑定資料に血痕は存在しなかったが、Feは死体の腐敗現象が進行し、腐敗液が腐敗ガス圧で体外に排出されたときに鑑定資料のドレスのたて糸およびよこ糸を構成している絹繊維同士の極めて小さな隙間を毛細管現象で拡散した腐敗液の中に含まれていた微量の赤血球由来、あるいはヘモグロビン由来のFeであった (Fig. 4)。

一方、布目¹⁴⁾ は比久原横穴群第V号の人骨に付着する絹織物について鑑定した。横穴群第V号から発掘された繊維の断面形をパラフィン切片法で調べた結果、①材質は、たて糸よこ糸ともに家蚕の絹であったこと、②被葬者の遺骨に絹織物が付着していたこと、③全てが透目絹織物を付着していたことを報告した。素材が家蚕の絹であったことは我々の鑑定資料と同じであるが、死者に着用させた着衣の織密度は、鑑定資料が密であるのに対し、布目の資料では粗であり、両者で全く異なることが分かった。また、布目の鑑定した人骨に付着していた資料は、

長期間有機物に接触していたことによって、腐蝕が進み、無構造に近づいたものであり、遊離状態で出た人骨以外の器物に付着している絹織物は目の詰まった組織であったのに対し、人骨のそれは透目組織であることは、死体に着せるための特別な織りの着物であったとしている。

我々は、霊廟の地下室の木棺を置く台の上に安置されていたこと、換気が良く室内が乾燥していたこと、直射日光が差し込まず暗黒状態であったこと、廟の地下室の地面が砂と石灰岩であることなどの条件から木棺の下部の穴から死体の腐敗液が外部に流出し、鑑定資料の保全に有益であったことに着目した。鑑定資料に血痕は確認されなかったことから、Feはミイラ化が起こる段階で死体から腐敗ガスとともに排出された血液由来物質として混在していた腐敗液由来で有ることが示唆された。この腐敗液が着衣を支持体に毛細管現象で上昇し乾燥したことを考えると、Feは血液由来の元素であることが示唆された。鑑定資料の洗い液に抗ヒトヘモグロビンを反応させた結果、陰性であったが、ドットプロットを行った結果、ヘモグロビンの存在が確認された。したがって、その量は極めて少ないものと考えられた。この結果は、蛍光X線分析のFeが少ないという結果と一致した (Fig. 4)。Feが少ないということは、絹の酸化を抑制することにも寄与し、鑑定資料は付着物による酸化が少なかったことを意味する。

ABO式血液型抗原は赤血球だけでなく、皮膚、毛髪、爪や唾液に至るまで分布しているので、個人識別においてDNAや指紋と同程度の価値がある。したがって、鑑定資料のように腐敗液が着衣を支持体に毛細管現象で上昇し、乾燥した場合や長時間経過した場合には、ABO式血液型が確実な情報を提供してくれる。しかし、時間が経過した試料からの血液型判定は、新鮮な血液材料の血液型の検査と比べはるかに難しい。赤血球の血液型物質はリポポリサッカライドであるのに対し、浸出液、濾出液の場合はムコポリサッカライドであり、水溶性であるので、着衣の場合は毛細管現象で広範囲に分布する可能性が高い。鑑定資料を用いた吸収試験及び吸収解離試験の結果、鑑定資料の血液型はヨーロッパ人で出現頻度が高いA型であった。

文献

- 1) Prokop O, Göhler W: Forensische Medizin. 3 Auflage (Ger.). Veb Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1975.
- 2) Philippa Scott: The book of silk. Thames & Hudson Ltd, London, 1993.
- 3) 世界最古のドレス5000年前のものと判明、古代エジプトのドレスは驚くほど現代的だった. <http://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/a/022200011/> (2016/03/09 アクセス).
- 4) 沈没船から見つかった17世紀のドレス公開, オランダ. http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20160420-00000031-jij_afp-int (2016/04/20アクセス).
- 5) 東京国立博物館：日本出土原始古代繊維製品の集成及び基礎研究. 平成10年度～平成13年度科学研究費補助金基礎研究 (A) (2) 研究成果報告書, 東京国立博物館, 東京, 2002.
- 6) 東京国立博物館：日本出土原始古代繊維製品の集成及び基礎研究. 平成14年～平成17年度科学研究費補助金基礎研究 (A) (2) 研究成果報告書, 東京国立博物館, 東京, 2006.
- 7) 布目順朗：付編1 比久尼原横穴群第V号穴の人骨に付着する絹織物について, 島根県仁田町教育委員会編：比久尼原横穴群緊急発掘報告. 島根県仁田町教育委員会, 島根県仁田町, 1986.
- 8) 長井辰男, 荒木尚美, 柳沢裕子, 岡崎登志夫, Velta Vorksoone, Grigory Vabels：ドイツ貴婦人・ロバのミトコンドリアDNA鑑定. 医学と生物学, 140: 87-91, 2000.
- 9) Baltic News Service: Riga in your pocket. Baltic News Service, Riga, 1998.
- 10) DIC株式会社：DIC GRAF -G カラーチャート. DIC株式会社, 1992.
- 11) 日本規格協会：JIS ハンドブック2016 (31) 繊維. 一般財団法人日本規格協会, 東京, 2016.
- 12) 佐賀県教育委員会：新刊発掘調査報告書, 九州吉野ヶ里. 六一書房, 東京, 1992.
- 13) 布目順朗：絹と布の考古学. 雄山閣出版, 京都, 1988.
- 14) 島根県仁田町教育委員会編：比久尼原横穴群緊急発掘調査報告. 島根県仁田町教育委員会, 島根県仁田町, 1986.
- 15) 柏木希介：染織文化財について. 文化財の虫菌害, 33: 20-23, 1997.
- 16) 柏木希典, 山崎青樹：天然染料の耐光堅ろう性. 古文化財の科学, 27: 54-65, 1982.
- 17) 岡本 奨：絹の黄褐色変と脆化の科学. 高分子, 8: 671-676, 1952.
- 18) 榎本 睦, 瀬戸山幸一：絹の黄変を表わす黄変指数の選定と光黄変に及ぼす諸要因の影響. 繊維学会誌, 4-5: 147-153, 1973.

- 19) 林 孝三, 猪坂多智子, 涼野 元: 古代裂に於ける植物染料の化学的同定について. 古代文化財の科学, 1: 33-41, 1951.
- 20) 西田虎一: 染色学. 家政教育社, 東京, 1970.
- 21) 布目順郎: 養蚕の起源と古代絹. 雄山閣出版, 京都, 1997.
- 22) 小西 孝, 黒川昌孝: 絹フィブロインの単結晶. 繊維学雑誌, 26: 443-446, 1970.