

論 文

## 画材としての没食子インク、紙および羽根ペンに関する一考察

Studies on papers, iron gall inks and quill pens as painting tools

土井原 崇浩 (高知大学教育学部)

蒲生 啓司 (高知大学教育学部)

DOIHARA Takahiro · GAMOH Keiji

*Faculty of Education, Kochi University*

We summarized the studies on papers, iron gall inks and quill pens as painting tools in this paper. Drawings, which are the traditional western oil paintings, by using both inks and quill pens have been taught for university students in art education for over fifteen years. More attention has been paid to both the affinity of papers and iron gall inks and the properties of iron gall inks. In this study, we have described the details of the affinity of papers and iron gall inks and the improvement of adhesive properties of iron gall inks. Our research achievements will contribute to the art education near future.

## はじめに

本研究は、土井原の論文(2005年)<sup>1)</sup>で述べた日本風土の没食子インクと羽根ペンに関する研究の再考に単を発する。西洋古典インクでは、主に没食子インクが使用され、数百年も人の筆跡等を残すことができる。しかし、日本では明治以降に金属ペンとインクによる素描(デッサン)<sup>2)</sup>は西洋から導入されたが、羽根ペンによる素描が美術教育に活用された実例が殆どない。筆者らは、このインクと羽根ペンのデッサン授業を大学において長年継続してきた。その中で、この没食子インクの特性を最大限に生かす上で、以下の問題点が明らかになった。

1. 紙とインクの相性により、紙上でのインクの濃さや色味が変化する。
2. 紙上インクの経年劣化による色の変化が様々である。
3. インクに使用する展色材(アラビアゴム)の強度が不足している。
4. 日本風土に適した活用度の高い没食子<sup>3)</sup>を選定できないか。
5. 羽根ペン<sup>4)</sup>は金属ペンや鉛筆よりも美しい線が表現できるのは何故か。

インクの特性をより高度にする上で、それぞれの問題点について実験的に検証し、1つずつ改善することとした。

## 1. 紙による没食子インク色の変化

## 1-1. 問題の所在

今日まで、15年を費やして紙と没食子インクの授業を行ってきた。各年度により学生個々が所有するスケッチブックが異なるため、インクによるデッサン作品はインクの濃さが異なってしまう。授業では、どの学生にもインクの濃さが安定するようにインクの処方を変え、濃さを調整している。しかし、デッサン用紙、水彩用紙、クロッキー用紙等と幅があり、濃さの調整は中々難しい。また、今までに保管している作品資料に変色があり、その色の変化は様々である。長年の作品保管によっても経年劣化し難い紙を選定することを実験目的とする。

## 1-2. 紙と没食子インクの実験

紙とインクの実験には、その殆どを日本国内最大手の画材店(新宿世界堂)で各紙を購入し、使用した。購入したのは2014年夏である。各紙の製造会社は年度により原料・材料や製造方法等が変化する可能性がある。日本工業規格(JIS)にあるように、紙は植物繊維その他の繊維を膠着させて製造したものとなっている。洋紙の原料は様々で、木材や古紙、木綿等である。また、洋紙は製造過程でサイズ剤(にじみ防止)、填料漂白剤(白顔料等)、紙力増強剤(デンブン等)、染料(蛍光染料)等が加えられる。また

高品質の紙にするため金属(酸化チタン等)を紙に漉き込む場合がある。

画材としてのデッサン紙、水彩紙、クロッキー紙は、画用具(鉛筆、色鉛筆、木炭、コンテ、パステル、水彩絵具等)<sup>5)</sup>による人の表現をそのまま維持し、良好に保つように工夫された専門の紙である。洋紙の製造方法をより工夫したのものがある。例えば、非木材でパルプとコットンを漉き合わせ、蛍光塗料を使用せず、原材料のみで白い紙にしている。紙の厚さは、超厚口、厚口、中目、細目がある。それら様々な50種の紙からインクによるデッサン紙として相応しい紙を選定するため、実験を行う。

没食子インクの処方例として以下の例が挙げられる。<sup>6)</sup> 硫酸第二鉄 15g、タンニン酸 15g、濃硫酸 3g、インクブルー(色素) 3g、アラビアゴム 5g、グリセリン 3g、サリチル酸 1g、精製水 1000ml

今回の実験では、没食子インクの方法は文献に従った。(硫酸第二鉄 5g、タンニン酸 5g、精製水 333ml) 硫酸第二鉄とタンニン酸の試薬は(株)和光純薬工業のものをを用いる。インク色(ブルーブラック(青紫系))の主成分と紙の相性を正確に判断するため、あえてその他の薬品や展色材を入れず、その効果を確認した。

まず9cm×2cmの各紙(50種)を準備した(図1.)。図1.には紙の写真と種類を示した。その50種の紙にインク1mlを塗布した。インクの計測にはマイクロピペットを用いた。塗布した紙を、順次グレーの厚紙に張り付けた(図2.)。官能評価(東京芸術大学油画技法材料研究室が油絵具(油一)の開発時に使用した評価方法)<sup>7)</sup>を参考に、ここでは新たに評価基準を設けて、インク塗布後の50種の紙を目視により現物比較することによって、優劣評価を行った。

## 1-3. 紙とインクの実験結果

紙へのインク塗布により、様々な表情が現われた。インク色の変化に大小の影響を与えた紙を比較・官能評価した(図2.)。紙とインクの実験結果となる評価コメント、点数による評価を行った。以下の結果を、表1.に評価結果としてまとめた。

- ・インク色の色味や濃さを優位に保つ紙 : 1, 4, 7, 14, 19, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 40, 41, 43, 47, 48, 49
- ・インク色が表現し難い紙 : 6, 31, 34
- ・その他(インクが玉虫色になる紙) : 8

## 1-4. 考察と今後の課題

総じて、没食子インク本来の色や濃さを十分に表現できている紙は、発色が美しく艶がある。対してインクの濃さや色味、輝きが低減している紙がある。実験結果からインクの使用それぞれに、インクに何を求めるかを目的に紙

を選ぶこともできる。例えばインクの濃淡を水墨画で例えると、濃密な黒なのか、それとも淡い黒を好むのか等により、使用者が自らの官能に基づき、紙を選ぶことができるようになったと考える。

もし、精製水に対する没食子インク液の濃度を変えれば、吸収性の高い水彩紙でも濃い色となることを言い加えておく。没食子インク色は描く紙により濃淡が異なる。そのため、没食子インク色の濃さの調整を絶えず行ってきた。

今後は、研究から得られ成果を踏まえ、満足の行く紙を選び、デッサンとクロッキー等の質の向上に役立つと感じる。

## 2. 紙と没食子インクの経年劣化の影響

### 2-1. 問題の所在

没食子インクは、紙に使用した最初に空気と光に触れることでブルーブラック色が定まる<sup>8)</sup>。その後、経年劣化によりビスタ色（茶系）に徐々に変化して行くことがある。インクと紙の相性、紙の厚さ、インク紙の保管場所等で、インクの変色具合は変わってくる。ここでは、インクと紙の相性に絞り実験を行う<sup>9)</sup>。

### 2-2. 紙とインクの経年劣化実験

実験サンプルは、1. 紙による没食子インク色の変化で使用した同じものをそのまま活用する。その選定は長年の著者の経験等（油画制作やデッサン制作等）から、官能評価も取り入れ判断する。紙とインクの劣化には数年間、数十年が必要である<sup>10)</sup>。その時間短縮を図るため、機器を使用し、紙とインクの加速劣化試験を行った<sup>11)</sup>。経年劣化実験を促進するために、光による劣化の促進試験が可能な耐光試験機 Q-SUN Xe-1 キセノンアークを使用した。この耐光試験機は疑似太陽光源を持ち、耐光性、色堅牢性、光安定性を試験する卓上式試験機で、フルスペクトル（全波長域）の太陽光によって発生するダメージを再現し、通常屋外で数ヶ月あるいは数年に亘って起こる劣化を数日あるいは数週間という短期間で再現することができる。

劣化実験前と後の紙と没食子インクの状態を比較できるようにするため、アルミホイルを 50 種（紙短冊の下方 2 分の 1 程度に被せ、強い光を浴びないようにした。

（図 3.）図 3 の中心部が欠けているのは、耐光試験機の照射台に台紙を合わせるために切り取った箇所である。実験の年相応評価は、照射照度 550W/m<sup>2</sup> で 50 時間照射することで、1 年間の日照量（昼）に相当するものとした。実験はサンプルに対して実験温度 28℃、照射照度 550W/m<sup>2</sup> で 150 時間照射した。昼夜の時間分を考慮して 3 年間分の太陽光を照射した換算になる。

### 2-3. 紙と没食子インクの経年劣化実験結果

50 種の紙と没食子インクの加速劣化試験を行った。以下にその結果を示す。紙とインクに約 3 年間の紫外線を照射した。紙上全体が黄色を帯び、インクの箇所も変色が生じた。ブルーブラック色（青紫系）のインクは、黄土色を帯びて鈍い色味に変化した。インク塗布後の 50 種の紙を目視により現物比較し、優劣評価を行う。前出の評価基準に従って評価した。図 4. に紙とインクの実験結果となる評価コメント、点数による評価を行った。以下の結果を、表 2. に評価結果としてまとめた。

- ・インクの色味や濃さ等を最も優位に保つ紙：4, 26
- ・インクの色味や濃さ等を優位に保つ紙：1, 3, 8, 17, 21, 24, 27, 32, 40, 47
- ・インクの色味はビスタ色に傾く紙：9, 12, 25, 34, 44, 46
- ・その他（インクの色が玉虫色となる）：8

### 2-4. 考察と今後の課題

紙と没食子インクの変色は、全てのサンプルに於いて確認された。研究 I と II での実験結果が重なる紙として、優位な紙は 1, 4, 26, 27, 40, 47 である。劣位の紙は 34 であった。

没食子インクの特徴は、数百年も描いた線等が羊皮紙や紙等に残る。永い年月を経たインクはビスタ色に変わるのである。今回の紙の選定は、インクの色を最大限に美しく見せる紙を選ぶことにあった。その選別は十分にできたと考える。また、玉虫色の光沢（銀箔を硫黄で焼いた時の色に類似）がでる紙を発見できたことも大きな成果である。インクと紙の特性には両極があり、本来のインク色を保つ紙と黄化させる紙に分かれる<sup>12)</sup>。

もしも、インクを使用してビスタ色を早く楽しみたいのであれば、実験から得られた評価数値の低い紙を活用すると良い<sup>13)</sup>。耐光実験後に、没食子インク固有の特性が残っている紙は、没食子インク特有の発色や艶を保持している。また、このインクの色味や艶が低減し、古色風なビスタ色に近づく紙もある。素描制作者が求めるインク色のイメージによって、自由に紙の種類を選択することができる。そうすれば、多様なインク素描作品が生まれてくるのである。益々、インクと紙の可能性が拡充すると考える。

## 3. 膠のタンパク質限定分解

### 3-1. 問題の所在

没食子インクには、展色材としてアラビアゴムが使用されている。しかし、このインクの量が多く紙に付着したところは剥がれやすい。インクの付着力を高めるためには植物性のアラビアゴムよりも動物性の膠液の使用が考えられる。伝統的に膠はアラビアゴムよりも付着力が強いとされている。しかし、没食子インクに膠液を混ぜる場合、膠

膠は20°C以下ではゼリー化し1年中の四季を通して利用するには不向きとなる。特に冬場の屋外使用には適さなくなるのが大きな欠点となる。そこで、低温でも使用できる膠液を開発するため、膠液のタンパク質限定分解実験を行った<sup>14)</sup>。

### 3-2. タンパク質限定分解の実験

膠液の3種類(HM膠、つぶ膠、三千本)を酵素(コラゲナーゼ 1G 034-10533 和光純薬)によりタンパク質限定分解を行う<sup>15)</sup>。その酵素反応を時間ごとに温度と粘度を計測する。粘度の計測は粘度計(BROOK FIELD DV-E VISCOMETER)を使用する。実験用の膠液を作るため、ビーカーの精製水に浸した膠の過熱はホットスターラーを用いる。安定した温度管理を可能にするからである。

実験に使用した膠は、HM膠、つぶ膠、三千本である。以下にHM膠のタンパク質限定分解を例にその手順を示した。

- 1) 500mlのビーカーに精製水350gとHM膠35gを入れる(これ以降、HM膠は膠と表記)。ビーカー内の液は約410mlとなる。膠は一昼夜、ビーカーの精製水に入れたまま膨張させる。
- 2) 膠がふやけ膨張した後、ホットプレートにビーカーに乗せ過熱する。40°Cを過ぎたあたりで、膠は全部溶解し、膠溶液となった。(粘度計測: CP 576, 20PPM % 12.3 S06) 水温26°C。酵素分解実験に入る前に、膠液のゼリー化温度を調べた。アルミボールにクラッシュアイスと塩を準備し、試験管(10mlの膠液水)をいれた。16°Cからゼリー化が始まり、13°Cで完全にゼリー化した。
- 3) 酵素はpH6.5~7.0で活性が良く、膠液を分解促進されるため、HM膠液をpH7(計測はpHメーターを使用)に調整する。pH計測計を使用410mlのHM液にPH調整に水酸化ナトリウム(NaOH)4Mを使用した。410mlのHM膠液(pH5,6)に水酸化ナトリウム(NaOH)4Mを0.01mlずつ加え、0.03mlのところ、pH7.1となった。
- 4) 膠水のタンパク質限定分解を行う。膠水(水温26°C)に酵素(コラゲナーゼ 1G 034-10533 和光純薬)加える。酵素液の量は未知な部分であり、実験を何回も繰り返し酵素量を特定した。結果として得られた、酵素溶液は精製水5mlにコラゲナーゼ5mg(0.005g)溶かした溶液であった。今回の実験にはその10倍量と定め、酵素溶液は精製水50mlにコラゲナーゼ50mg(0.05g)溶かした溶液にした。このコラゲナーゼ溶液を410mlの膠液に混ぜ、ガラス棒で攪拌した。
- 5) 素早く粘度計に膠液の入ったビーカーを装填し、温度を一定(室温と同じ26°C)に保ちながら30秒数ごとに測定した(表.3)。
- 6) 12分後にはcP66, %1.4となる。そのまま20分まで計

測したが、cP66, %1.4に変化は無く実験を終了する。

- 7) 酵素分解した膠液410mlを試験管30本に分ける。各試験管へ膠液を約14ml入れ、試験管立てて並べた。計量はマイクロピペットを使用した。
- 8) 酵素はいつまでも働き続ける可能性があり、100°Cに近い温度で、その活性を止める必要がある。試験管立てて入れた試験管30本をガスコンロにかけた鍋の熱湯100°Cに入れ煮沸し、酵素を殺活させた。
- 9) 煮沸した試験管30本の膠液をビーカー(500ml)に戻し、その膠液を低温化させながら粘度計で値を測る。大きなアルミ鍋にクラッシュアイスと塩を入れ、ビーカーを冷やしながら粘度計測した(表.4)。
- 10) -3, 3°Cの温度でもゼリー化しない膠液となることが分かった。前出の実験手順(HM膠の場合)に従い、つぶ膠と三千本膠の実験を行った。それぞれのタンパク質限定分解の結果を記す。つぶ膠の結果を表5. および表6. に、三千本膠の結果を表7. および表8. に示した。

### 3-3. タンパク質限定分解の実験結果

それぞれのタンパク質限定分解の結果、0°C以下でもゼリー化しない膠液ができた。

### 3-4. 考察と今後の課題

3種の膠液(HM膠、つぶ膠、三千本膠)のタンパク質限定分解を成功させ、0°C以下でもゼリー化しない膠液を製造した。この膠液は冷凍保存し、活用する時に室温で溶かして使用する。今回の膠液は没食子インクに混ぜて従来のものより固着力を高め、品質の高いインクを製造に活用することとする。また、この膠液は美術作品の保存修復等での活用も期待できると考える。

それから、酵素反応の時間経過と膠の粘度値から、粘度は自由に操作できることが確認された。求める粘度があれば、その1分前に実験を中止し、膠液を煮沸(90°C以上)すれば粘度が決定する。膠の粘度と付着力は関連していると考えられ、酵素反応時間が短ければ付着力は高く、酵素反応時間が長ければ付着力は低くなるであろう。この問題については今後の研究を進めるつもりである。

## 4. アラビアゴムと膠液(タンパク質限定分解)の付着力の比較

### 4-1. 問題の所在

没食子インクが紙に多く付着した箇所は、擦れ等により剥落することがある<sup>16)</sup>。紙とインクの実験にある(没食子インクの処方例)から、インクの色は、硫酸第二鉄とタンニン酸からブルーブラックとなる。その色の展色材としてアラビアゴムが使用されている<sup>17)</sup>。しかし、アラビアゴムの粘着力・付着力は決して強くはない。ガラスの上にアラ

ピアゴム液を塗布し、年月を経過すると元のベージュ色の粉が生じ、ひび割れも現れる。膠の材質はガラス状であり、硬質である。また、没食子インクにアラビアゴムを混ぜると、本来のブルーブラックよりもインクの濃さが少し明るくなる<sup>18)</sup>。やや青みが強くなり、色の深みを弱める。この現象は没食子インクに膠液を混ぜても同じように青みが増すことが起こる。

膠液は約20℃以下になるとゼリー化が始まり、低温でのインクの使用には向かない。流動性が損なわれ、インクが出難くなるのである。もしも、膠液の流動性が低温でも変化しなければ、インクの展色材として有用な展色材となる。膠は顔料・染料等の展色材として古来から活用され、その効果は公知となっている。没食子インクは染料に近く、膠の使用効果があると考えた。

#### 4-2. アラビアゴムと膠液（タンパク質限定分解）、膠液の付着力を比較した実験

綺麗に掃除（磨く）されたガラス板を準備し、その上に酵素分解した膠液（3種）塗布し、（図5.）アラビアゴム液と膠液（3種）を塗布する。（図6.）それぞれの液が硬化・乾燥した後、粘着テープ（セロテープ、マスキングテープ、ガムテープ）を密着させ、剥離作業を行う。その剥離状況を確認し評価する。

アラビアゴムと膠液の付着力を比較実験するため、膠液（3種）は、精製水50mlに各膠5gづつを溶かした。アラビアゴム液も同じく精製水50mlにアラビアゴム5gを溶かした。酵素分解した膠液（3種）も精製水50mlに対して膠5gを溶かし、容量比をどれも揃えて実験に活用した。水平に置かれたガラス上にそれぞれの液（7種）5mlを約1.5cm×8cmになるように塗布し、幾つかの短冊状が並ぶように塗布した。液の計量と塗布はマイクロピペットを使用した。そのまま水平に保ち、室温で一週間乾燥させた。

乾いたアラビアゴムと膠に粘着テープ2種（セロテープ、マスキングテープ、ガムテープ）を幅1.5cm、長さ12cmに切り、100gの負荷をかけて密着させた後、テープを剥がした。テープの使用前、使用後の重さを電子天秤で計測した。

#### 4-3. アラビアゴムと膠液（タンパク質限定分解）の付着力を比較した堅牢試験結果<sup>19)</sup>

乾燥固着したアラビアゴムと膠（3種）、膠（タンパク質）限定分解にセロテープ（幅1.5cm、長さ12cm）を500gと700gの加重負荷をかけて密着させた後、テープを剥がした。テープの使用前、使用後の重さを電子天秤で計測した。それぞれのテープの上から15秒間500gの加重（5秒ごとの3往復）をかけた試験1回と15秒間700g（5秒ごとの3往復）の加重をかけた試験を2回行った。電子天秤で、実験前後のテープの重さを計量した。その平均値を記

した。

7種それぞれの剥離平均値

・HM膠 -0.001g ・つぶ膠 +0.001g ・三千本 -0.002g  
・アラビアゴム +0.002g

・HM膠（タンパク質限定分解）+0.001g ・つぶ膠（タンパク質限定分解）+0.028g ・三千本（タンパク質限定分解）+0.018g

酵素分解した膠（3種）では、つぶ膠と三千本膠は、他の物よりも数値が高い。それに比べ、HM膠はアラビアゴムよりも数値が低い。酵素分解していない通常の膠は数値が低い。強度が高く、ほぼ剥離が起きていないといえる。酵素分解した膠の中で、アラビアゴムよりも数値が低いHM膠（タンパク質限定分解）は没食子インクの展色材としての活用が相応しいと判断できる。

その他の堅牢試験も行った。

その他・堅牢試験結果：「ペインティングナイフで擦り傷をつける」ことを行い、どの展色材もしっかりと固着し、強度が認められた。

#### 4-4. 考察と今後の課題

アラビアゴムと膠の堅牢実験から、膠の優位が認められた。インクの固着力は膠の方がアラビアゴムよりも高いため、インクの保存状態はアラビアゴムよりは良好に保たれると想像できる。経年劣化に対して大きく役立つと考える。

板ガラスへの塗布から1週間後の実験であった。今後の剥離実験は、より年月を経過したアラビアゴム、膠、タンパク質限定分解膠で試すことが求められる。

## 5. 日本の没食子（虫こぶ）

### 5-1. 問題の所在

西洋古典インク（没食子インク）として売られているインクは、非常に高価である。美術教育現場でそれを購入し活用するには不向きである。もしも、日本風土を活用した没食子インク製造が可能になれば、美術教育へのインク使用が普及できると考えた。

### 5-2. 各県の現地調査

インク製造に相応しい没食子を見つけるために、著者の住む高知県内の野山を調査する。インクを製造するには沢山の没食子が必要である。没食子は没食子蜂（メス）が、どんぐり木の新芽や葉の葉脈に卵を産み付けるために刺傷した後、その箇所が膨らんだもの（虫こぶ）である。虫こぶは粒状となる場合が多い。基本的に1本のどんぐり木で、沢山の虫こぶを発見するのはとても困難である。高い木々のある山では、葉が高所にあり虫こぶを採取しにくい。山にいる没食子蜂（メス）は、1本の木のみ産卵するのではなく、多くの木に限られた数の卵を産卵するようであ

る。その為か全く虫こぶの見つからない木の方が多い。没食子インクを製造するには、まず虫こぶの採取し易いどんぐり樹が必要であり、尚且つ沢山の虫こぶが葉に付着していなければならない。高知県の調査後に他県への調査を実施することとする。相応しい没食子を探すため、何百回も野山に分け入った。このインクを製造するには沢山の没食子が必要である。沢山の虫こぶを1本の木で採取できるのは誠に稀である。しかし、その木を発見できれば没食子インク製造は可能となる。

高知県を皮切りに調査を開始し、何十回も野山に入り虫こぶ採取を試みたが、採取できたのは僅かである。虫こぶは少量のみでインク製造には至らなかった。高知県では、没食子蜂自体が少ないと考え、他県への採取を実行した。岡山県、福岡県、佐賀県、大分県へ訪れ、道路沿の林を見つけ、虫こぶ採取を試みた。その結果、虫こぶは、高木よりも低木に多くあり、どんぐり樹が密集している野山よりも、公園や牧場等にあるどんぐり樹に沢山の虫こぶ（クヌギハマルタマフシ（タマバチ科）ブナ科を発見し、採取できた。図5）、図6）はこの虫こぶが葉の葉脈に付着している写真である。

### 5-3. 調査結果

有力などんぐりの木：岡山県赤磐市の某学校園、福岡県JR久大本線近くの某公園、大分県阿蘇の某牧場。数年掛けてどんぐり樹の虫こぶを探した成果として、沢山の虫こぶを採取できるインク製造に相応しい樹を岡山県と福岡県、大分県で見つけることが出来た。

### 5-4. 考察と今後の課題

没食子インク製造に向くどんぐり木を見つけたのは、幸運であったが、上記のそれぞれの場所については、今後の研究継続を考え詳しく説明できない。大量の虫こぶが採取できるどんぐり木を新たに見つけてから公表したい。

## 6. 日本風土の没食子インク製造

### 6-1. 問題の所在

自然由来の没食子インクは、西洋で製造されている。日本の自然由来のどんぐりの虫こぶから製造したインクは無く、西洋から入手するととても高価である。このインクには幾つかの欠点があるが、数百年もインク色が消えないのも事実である。このインクは紙に多く量が落ちたところは、乾燥後に剥落しやすい。没食子インクが粉状になるのも要因の一である。展色材のアラビアゴムでは付着力・固着力が弱く、新たなものが必要である。そこで、伝統的に展色材として使用されてきた膠<sup>20</sup>を使用した。膠はあらゆる美術作品等に使用され、その効果は認知されているからである。

今までの研究に於いて、膠のタンパク質限定分解により低温でゼリー化しない膠液の開発製造を成功させた。アラビアゴムと膠液（タンパク質限定分解）の付着力を比較し、膠液の優位を確認した。日本風土の没食子（虫こぶ）の選定後にタンニン酸を抽出した。これらそれぞれの効果を合わせて、全く新しい日本風土の没食子インクを製造完成させることが目的である。

### 6-2. 没食子インクを製造

採取した新鮮な虫こぶと乾燥させた虫こぶから、それぞれに没食子インク製造をする。

虫こぶ（新鮮）100gを粉碎し、精製水200mlで加熱した。これを濾紙とロートを使って濾過して固形分を除き、液分として緑色～琥珀色を呈する液体を得た。この液体はタンニン酸を含有する水溶液であり、その容量は150mlであった。次にこの液体150mlを加熱し、水分を蒸発させ、濃縮液80mlを得た。この濃縮液80mlに硫酸鉄IIの結晶粉末25gを加えて溶かし、目的とする没食子インクを得た。この没食子インクにタンパク質限定分解のHM膠10mlを混ぜてインク完成させた。

また、虫こぶ（乾燥）25gを粉碎し、精製水600mlで加熱した。これを濾紙とロートを使って濾過して固形分を除き、液分として茶色を呈する液体を得た。この液体はタンニン酸を含有する水溶液であり、その容量は約550mlであった。次にこの液体550mlを加熱し、水分を蒸発させ、濃縮液400mlを得た。この濃縮液400mlに硫酸鉄IIの結晶粉末80gを加えて溶かし、目的とする没食子インクを得た。この没食子インクにタンパク質限定分解後のHM膠15mlを混ぜてインク完成させた。

この2種類の没食子インクには、その他の薬品（濃硫酸、サリチル酸）は混ぜていない。少なからず紙への悪影響があると考え除外した。また、インクブルー（色素）とグリセリン（光沢効果）は、製造した没食子インク自体に十分な色の濃さと美しさがあり、没食子インクの光沢は膠により表現できているので混ぜ合わせていない。

### 6-3. 実験結果

主なインク色の成分に膠液（タンパク質限定分解）を混ぜた全く新しいインクを製造した。インクの描き心地は良好で、展色材（付着力・色の保存）としての効果が高い膠を使用し、0°Cに近い状態でもインクが使用できる物となった。今までの研究に於いて、膠のタンパク質限定分解により低温でゼリー化しない膠液を開発した。アラビアゴムと膠液（タンパク質限定分解）の付着力を比較し、膠液の優位を確認した。日本風土の没食子（虫こぶ）の選定をし、タンニン酸を抽出した。これらそれぞれの材料を合わせて、全く新しい日本風土の没食子インクを製造し、完成させた。

虫こぶの乾燥度の違いを利用して、色味の異なる2種類の没食子インクが製造可能となった。この没食子インクは染料系のインクであるが、顔料系の風合いも併せ持つ。重みのある色を呈し、味わい深い線が描ける新没食子インクとなった。

#### 6-4. 考察と今後の課題

全く新しい日本風土の没食子インクを製造完成させた。酵素分解した膠液の量は、増加させることも可能である。タンニン酸の濃度により、膠液量を調合する研究は、今後の研究でより明らかにしたい。

他の実験補足として、インク色の経年劣化を少しでも予防するために、保存状態を維持したと考えられているエジプトのミイラにも使用された蜂蜜をインクに混ぜた。しかし、蜂蜜の成分が、乾いたインクの湿度を高め乾燥しにくい欠点が認められた。

### 7. 羽根ペンによるインク線のゆらぎ

#### 7-1. 問題の所在

羽根ペン<sup>21)</sup>とインクで描かれたデッサンは、鉛筆やボールペン、金属ペンで描いた作品よりも美しく感じる<sup>22)</sup>。人の官能反応として、羽根ペンを使用したデッサンにはゆらぎがあり、有機的に感じる<sup>23)</sup>。

#### 7-2. インク線の周波数を計測実験

インク線は美しく感じるゆらぎがあると考え、その線の周波数を計測することにした<sup>24)</sup>。著者自身のインク線で周波数を計測した。インク線のゆらぎに1/fのゆらぎを発見することを目的とする。1/fゆらぎは、人が最も心地良いと感じるゆらぎである<sup>25)</sup>。インク実線を横に引いた場合、その線の上下でゆらぎは起きていたと予想し、FFT(高速フーリエ変換)ソフトにかけて計測した。

最初に通常の状態線で線を描いた線を計測した。線を引く手(左利き)は紙から離し、ペン先だけが紙に触れるようにして描いた。羽根ペンのゆらぎは筆圧によるゆらぎであり、周波数が発生する。その周波数をFFTソフトを使用して計測(フーリエ変換)した。表のrが1.0になれば、1/fゆらぎが発生していることになる。1.0に近い数値とはまだ断定できない。図9)

次に、瞑想(1分間)後に、描いた線を計測した。線を引く手(左利き)は紙から離し、ペン先だけが紙に触れるようにしながら、呼吸を緩やかにして描いた。羽根ペンは筆圧の変化によりゆらぎ生じる。表からも分かるように線の上端、下端、中心、線幅のどれにもゆらぎがある。特に中心部の線では $r=0.989$ となり、ほぼ1.0に近い。 $r=1.0$ は1/fゆらぎを表す数値である。この羽根ペンの線には、人が最も心地良いと感じる周波数が含まれていた。図10)

#### 7-3. インク線の周波数を計測した実験結果

1/fゆらぎが生じるのはインク線の幅であり、線を描く時の微妙な肥瘠の変化であった。1/fゆらぎが生じたのは、羽根ペンを持って直ぐに引いた線ではなく、瞑想(1分間目を閉じ深呼吸)をした後に引いた線に現れた。インク線のゆらぎに1/fのゆらぎを発見した。線の上、下、中心である。1/fゆらぎは、人が最も心地良いと感じるゆらぎである。インク実線を横に引いた場合、1/fゆらぎが生じるのは、描き手の心を落ち着かせた精神状態が線を描く時の微妙な筆圧の変化に現れることが要因であった。

#### 7-4. 考察と今後の課題

1/fゆらぎが生じたのは、羽根ペンを持って直ぐに引いた線ではなく、1分間の瞑想後に引いた線に現れた。今後は学生や生徒にもこのゆらぎの計測を行い、落ち着いた心理状態(瞑想後)には、優れた効果があることを学生や生徒等にも広汎させて行きたい。

#### おわりに

紙と没食子インク、羽根ペンの研究から幾つかの成果を得られた。それぞれの成果を集大成して、全く新しい日本風土の没食子インクを完成させることができた。

その過程で、紙と没食子インク色の関係からその変化と影響を明らかにし、耐光実験による没食子インク色と紙の変色を多くの紙で証明できた。没食子インクの欠点を見直し、固着力強化に通じる膠のタンパク質限定分解から、没食子インク使用に最適なタンパク質限定分解膠を得た。この膠は0°Cでもゼリー化せず、固着力の強度も兼ね備えたすぐれた膠であることを実証した。また、没食子インクに製造に欠かせない虫こぶは、その質だけでなく量が必用である。その虫こぶを沢山採取できるどんぐり木を発見できたのは偶然ではあるが、今後の没食子インク製造にとって非常に大きなことである。それから、羽根ペン線には人に自然で有機的な美しい表情があると思わせる理由として、1/fゆらぎもあることを確認できた。羽根ペンのインク線はたおやかな美しさを表現でき、とても魅力的である。

本研究で手掛けた日本風土の没食子インクは、新たな可能性を大いに内服し、美術教育や芸術活動等への貢献が期待できるものである。今後の研究開発でより進化させ、日本全国に普及させたいと考える。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(代表:土井原崇浩,挑戦的萌芽研究24652032,「日本風土の没食子インクの開発製造と美術教育への貢献」)によった。ここに感謝の意を表す。また、高知大学理学部 米村俊明教授、高知大学農

学部 市栄智明准教授、崇城大学応用微生物工学科 山浦泉教授、崇城大学建築学科 村上泰浩教授、J T S (The Jewish Theological Seminary) 山崎 クレップス 晶子様のご専門の知識の提供やご協力によりそれぞれの実験等が可能となった。心からお礼申し上げます。

#### 参考文献

1. 土井原崇浩, 「日本風土の没食子インクと羽根ペン」, 大学美術教育学会誌, 第 37 号, pp. 263-270 (2005 年).
2. 八重樫春樹, 「フォッグ美術館所蔵 ヨーロッパ巨匠素描展 素描の技法」, 国立西洋美術館, pp. 23~24 (1979 年).
3. 山本大二郎 (代表), 『日本昆虫記Ⅲ ハチとアリの生活』, 講談社教育図書出版部, (1959 年).
4. 『原色細密生態図鑑 世界の動物 (5) 鳥 1 ダチョウ・ペンギン・ワシ・カモ・チドリなど』, 講談社, (1982 年).
5. クルハーウェーテル, 『絵画技術全書』, 佐藤一郎監修, 戸田英夫, 真鍋千恵共訳, 美術出版 (1993 年) .
6. 薄葉重, 『自然史双書 虫こぶ入門 虫と植物の奇な関係』, 八坂書房 (1995 年).
7. 東京芸術大学美術学部, 油画技法材料研究室, デザイン学科視覚・伝達研究室, ホルベイン株式会社, 「YUICHI」 (2007 年).
8. The Iron Gall Ink Meeting: 4th & 5th September 2000, The University of Northumbria, Newcastle upon Tyne : Postprints, Edited by Miss A. Jean E. Brown. (2000).
9. 渡部旭, 『インキと科学 (復刻版) 』, パイロット筆記資料館 (1992 年).
10. 高知県立紙産業技術センター報告, 第 16 号 (2011 年).
11. 高橋厚, 「紙の劣化試験のための加速劣化処理条件について」, 紙パルプ技術協会誌, 第 41 巻, 第 5 号, 三菱製紙株式会社 (1987 年).
12. 科学研究費補助金成果報告書 (基盤研究(C), 2006 年~2008 年, 代表 近藤正子), 「近現代インク書き資料の保存に関する研究」.
13. 財団法人元興寺文化財研究所, 「国立公文書館所蔵資料保存対策マニュアル」, (2002 年).
14. 山本州平, 鈴木敦士, 「牛筋肉からタンパク質分解酵素プロテアソームの精製と性質」, 新潟大学農学部報告 (2000 年).
15. 鶴大典, 船津勝, 「タンパク質分解酵素<2>(生物化学実験法)」, 学会出版センター (1993 年).
16. 印刷博物誌編纂委員会, 『印刷博物誌』, 凸版印刷 (2001 年).
17. 代表編集 堀田満, 『世界有用植物辞典一事項編』, 平凡社 (1989 年).

18. 科学大辞典編纂委員会, 『科学大辞典 5』, 共立出版 (1961 年).
19. 委託先: シャチハタ, 「機能性インクを使用した印刷ペルによる偽造防止セキュアプラットフォームの研究開発」, 情報通信研究機構 (2009 年).
20. 馬淵久夫, 杉下龍一郎, 三輪嘉六, 沢田正昭, 三浦定俊, 『文化財科学の辞典』, 朝倉書店株式会社 (2004 年).
21. デビット・バーニー, 『ビジュアル博物館 第 1 巻 鳥類』, リリーフ・システムズ訳, 同朋社出版 (1994 年).
22. James watous, The craft of old-master drawings, University of Wisconsin press (2002).
23. 杉浦明平訳, 『レオナルド・ダ・ビンチの手記 上・下巻』, 岩波書店 (1985 年).
24. 武者利光, 『ゆらぎの発想 1/f ゆらぎの謎にせまる日本放送協会出版 (1998 年).
25. 武者利光, 『ゆらぎの世界 自然界の 1/f ゆらぎの不思議』, 株式会社講談社 (1997 年).

#### 参考 URL

1. Q-SUN Xe-1 装置  
<http://www.q-lab.com/ja-jp/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-1> (2014 年 11 月 28 日確認)
2. 久利元昭, インク焼け資料への保存修復手当て一効果の比較実験 I、株式会社資料保存器材  
[http://www.hozon.co.jp/report/kuri/kuri-no002-css\\_iron\\_gallink01.html](http://www.hozon.co.jp/report/kuri/kuri-no002-css_iron_gallink01.html) (2014 年 11 月 28 日確認)
3. 日本経年劣化協会 タンニンとクロムの経年劣化について (2013 年 12 月 05 日)  
<http://keinenhenka.ko-co.jp/e261136.html> (2014 年 11 月 28 日確認)

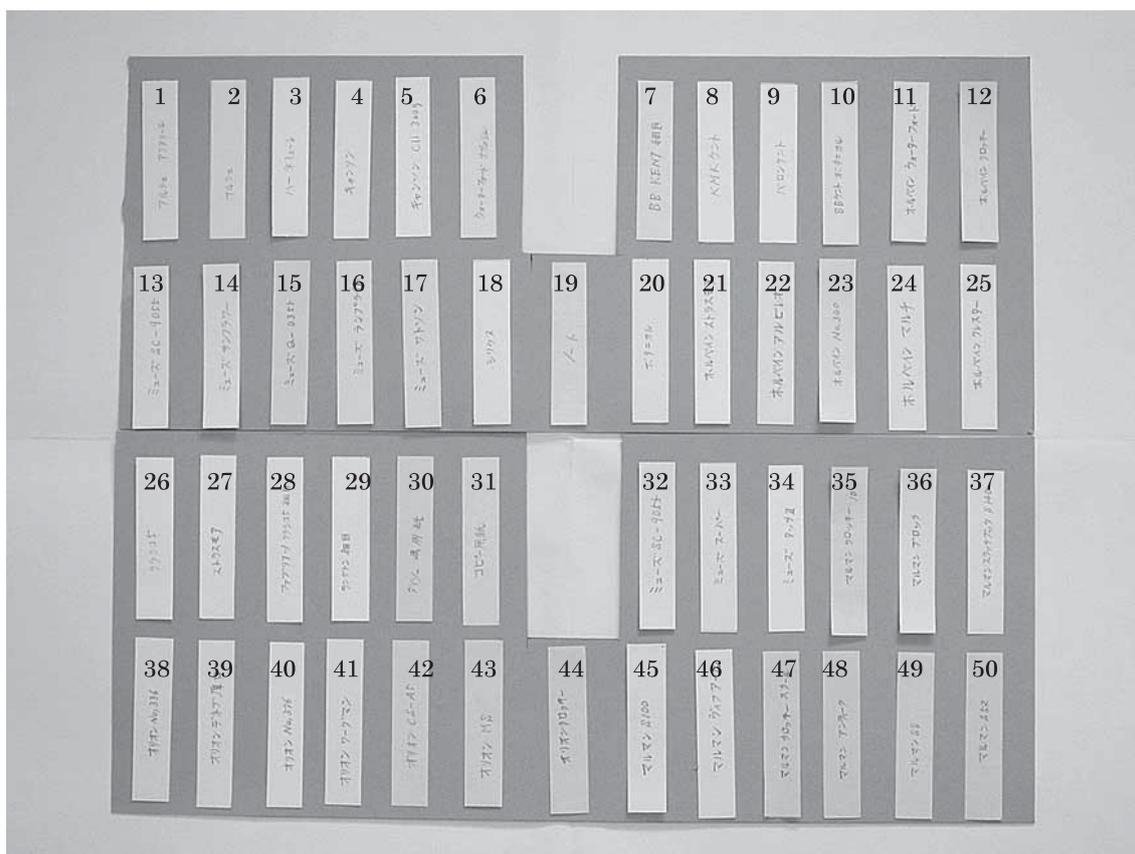


図1.) 紙の写真と種類

1. アルシュ アクアリアル AR3 (マルマン)、2. 水彩紙 極細目 185g/m<sup>2</sup> (アルシュ)、3. ハーネミュエレ 水彩紙 ドイツ製 細目 中性紙 300g/m<sup>2</sup> No.628165 (オリオン)、4. 水彩紙 モントール フランス製 300g/m<sup>2</sup> (キャンソン)、5. モンバル キャンソ 300g C11 中性 (マルマン)、6. ウォーターフォード ナチュラル 中目 中性紙 300g/m<sup>2</sup> (ホルベイン)、7. BB ケント紙 細目 175g/m<sup>2</sup>、8. KMK ケント #200 9. バロンケント #200、10. ボタニカル BB ケント ブロック 175g/m<sup>2</sup> B0 No.722 (オリオン)、11. ウォーターフォード水彩紙 (ナチュラル) 190g 細目 中性紙 (ホルベイン)、12. クロッキー No.300 60g 中性紙 (ホルベイン)、13. スケッチ SC-9055 (ミューズ)、14. スケッチブック サンフラワーA (ミューズ)
15. クロッキー Q-0355 (ミューズ)、16. 水彩紙 ランプライト 300g 中目・中性紙 (ミューズ)、17. ワトソン 厚口 190g 中性紙 中目 水彩・パステル用紙 (ミューズ)、18. シリウス 247 超厚保厚口 水彩画紙 47g/m<sup>2</sup> 完全無蛍光紙 (オリオン)、19. ノート 普通横罫 7mm×30行×30枚、20. ハーネミュエレ ボタニカル紙 ドイツ製 190g/m<sup>2</sup> 中性紙 NO.628210 (オリオン)、21. ストラスモア水彩紙 アメリカ製 中目 300g/m<sup>2</sup> (ホルベイン)、22. ルビオレ水彩紙 中性紙 中目 218g/m<sup>2</sup> (ホルベイン)、23. No.300 (ホルベイン)、24. マルチ ドローイング ブック NO.33K-1 厚口 中性紙 (ホルベイン)、25. クレスター水彩紙 No.CS 中目 210g/m<sup>2</sup> 中性紙 (ホルベイン)、26. クラシコ 5 イタリア製 細目 210g (ファブリアーノ)、27. 水彩紙 ストラスモア アメリカ製 300g 細目 (ホルベイン)、28. ボタニカル ファブリアーノ イタリア製 クラシコ 5 細目 210g BC-1355 コットンパルプ 50%配合 (ミューズ)、29. ラングトン (英国製水彩紙) 細目・ボタニカル 300g/m<sup>2</sup> 中性紙 (クサカバ) パルプ 100%

30. 画用紙 ハッ切 D-045 H2 (株)大創産業、31. スーパー 中性 PPC 用紙 ホワイトライラック (株)王子製紙、32. SC-9055 (ミューズ)、33. スーパー ドローイング 175 M-3503 (ミューズ)、34. ランドスケープ タッチII 水災紙 230g G1 中目・中性紙 (ミューズ)、35. クロッキー セクション 10 S237 (マルマン)、36. ドローイング ブロック S84 (マルマン)、37. スケッチブック S140 (マルマン)、38. シリウス ドローイング ブック No, 336 (オリオン)、39. 水彩紙 デネブ 厚口 非木材紙 中性 200g/m<sup>2</sup> (オリオン)、40. スケッチブック SU No, 376 (オリオン)、41. 水彩紙 ワーグマン厚口 200g 中性 中目・細目 水彩紙 (オリオン)、42. クロッキー ブック CS-A5 NO. 634 (オリオン)、43. アティースト ペーパー MS-B5 (オリオン)、44. クロッキー CA NO. 640 (オリオン)、45. リネンカバー S100 (マルマン)、46. ヴィフアール水彩紙 242g/m<sup>2</sup> 細目 ホットプレス (マルマン)、47. クロッキー スクール S 1020 A (マルマン)、48. ンティーク レイド ペーパー S238 (マルマン)、49. クロッキー 100 シート SS (マルマン)、50. クリーム SS2 (マルマン) \*記載内容は、各スケッチブック等の表記に従った。

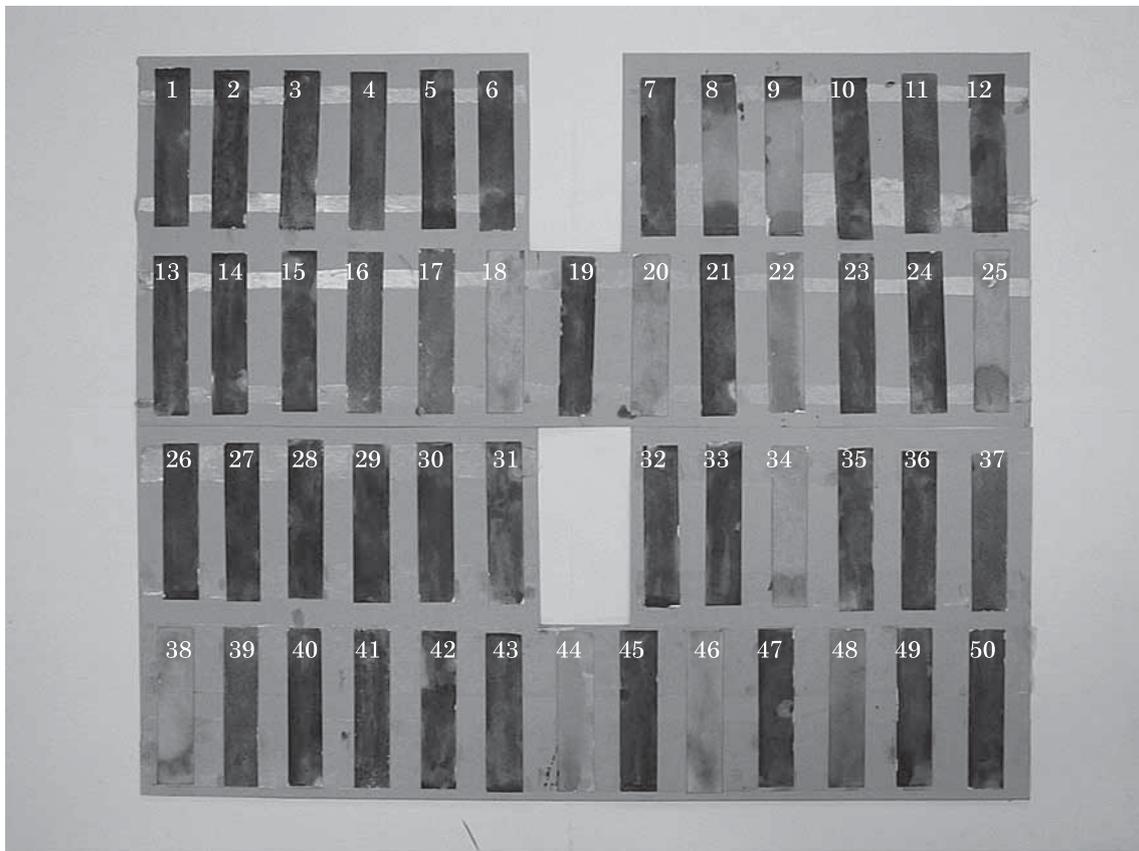


図 2.) 50 種類の紙と没食子インク

表 1.) 50 種類の紙に対する没食子インクの評価一覧

紙 No	色の濃淡	色合い	発色性	彩色性	色むら	吸い込み 乾燥度	紙の浪打 ち	評価点
1	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19

2	濃い	良い	良い	普通	普通	普通	普通	17
3	濃い	良い	普通	普通	普通	普通	普通	16
4	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
5	濃い	良い	良い	良い	ある	良い	普通	18
6	濃い	普通	普通	良い	普通	良い	ある	13
7	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
8	普通	良い	良い	普通	ある	普通	普通	16
9	淡い	良い	普通	良い	ある	普通	ある	15
10	濃い	良い	良い	良い	ある	普通	普通	17
11	濃い	普通	普通	良い	普通	良い	普通	17
12	濃い	良い	良い	良い	ある	普通	普通	17
13	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	ある	17
14	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
15	濃い	良い	良い	良い	ある	良い	普通	18
16	普通	普通	普通	良い	普通	良い	普通	16
17	濃い	普通	普通	良い	普通	良い	普通	17
18	淡い	良い	普通	普通	普通	良い	普通	15
19	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
20	淡い	良い	普通	良い	普通	良い	普通	16
21	濃い	良い	良い	普通	普通	普通	普通	17
22	普通	良い	良い	良い	普通	良い	普通	18
23	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
24	濃い	良い	良い	良い	普通	普通	普通	18
25	淡い	良い	良い	良い	普通	普通	普通	16
26	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
27	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
28	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
29	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
30	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
31	普通	良い	普通	普通	ある	普通	普通	14
32	濃い	良い	普通	良い	普通	良い	普通	18
33	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	ある	18
34	淡い	良い	普通	普通	普通	良い	ある	14
35	普通	良い	普通	普通	普通	普通	普通	15
36	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19

37	普通	普通	普通	良い	普通	良い	普通	16
38	淡い	良い	普通	普通	ある	普通	普通	13
39	普通	良い	良い	良い	普通	良い	普通	18
40	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
41	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
42	濃い	良い	良い	普通	ある	普通	普通	19
43	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
44	淡い	良い	普通	良い	普通	良い	普通	16
45	濃い	良い	良い	良い	ある	良い	普通	18
46	淡い	良い	普通	普通	普通	良い	普通	15
47	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
48	普通	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
49	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	普通	19
59	濃い	良い	良い	良い	普通	良い	ある	18

点数による評価

- ・色の濃淡（濃い 3 点、普通 2 点、淡い 1 点）, ・色合い（良い 3 点、普通 2 点、悪い 1 点）
- ・発色性（良い 3 点、普通 2 点、悪い 1 点）, ・彩色性（良い 3 点、普通 2 点、悪い点）
- ・色むら（ない 3 点、普通 2 点、ある点）, ・吸い込み・乾燥度（良い 3 点、普通 2 点、悪い 1 点）
- ・紙の浪打ち（ない 3 点、普通 2 点、ある 1 点）

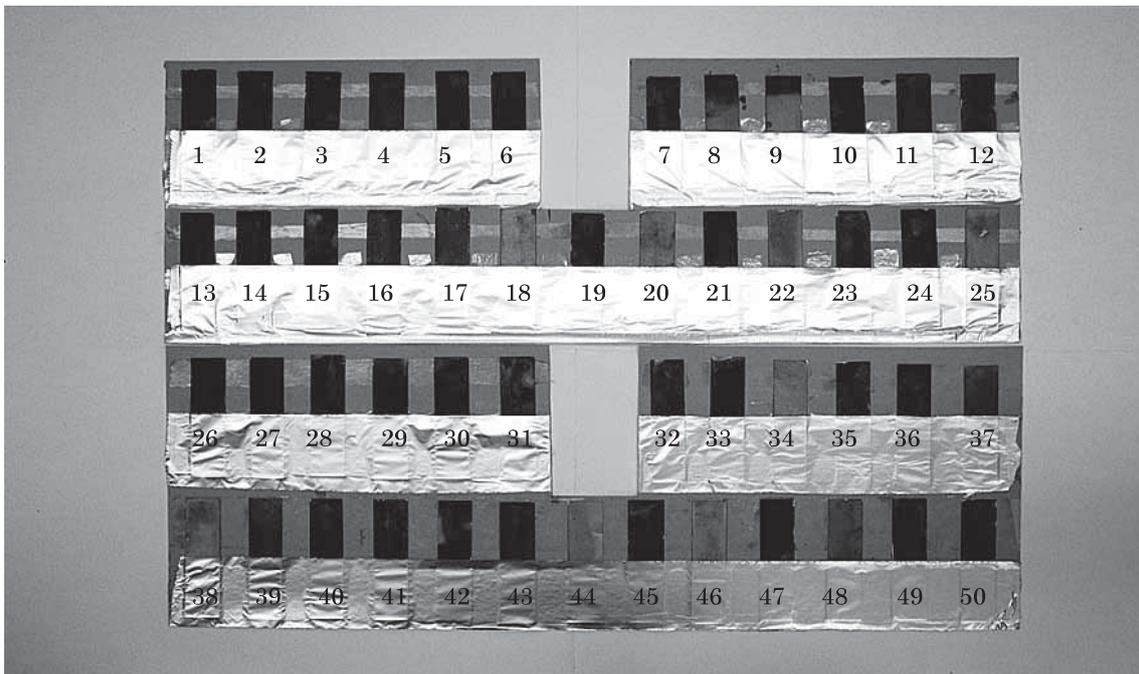


図 3.) 紙とインクの耐光試験前

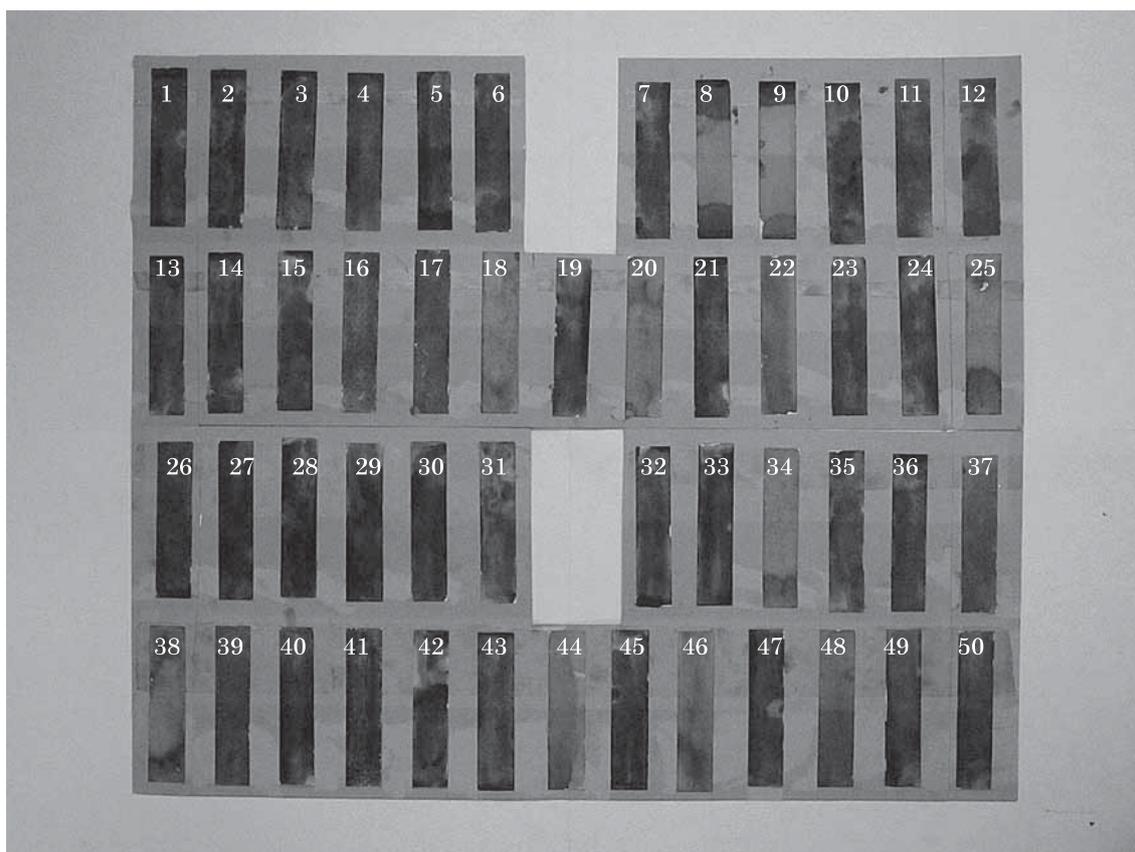


図 4.) 紙とインクの耐光試験結果（各短冊の上部 2 分の 1 が光劣化）

表 2.) 紙とインクの耐光試験後の評価表

紙 No	色の変退色	色の濃淡	色合い	発色性	色むら	紙の黄化	評価点
1	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
2	ある	濃い	良い	普通	ある	普通	12
3	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
4	普通	濃い	良い	普通	ない	普通	15
5	普通	濃い	良い	普通	ある	普通	13
6	普通	普通	普通	普通	ない	普通	13
7	普通	濃い	普通	普通	ある	普通	12
8	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	12
9	ある	薄い	悪い	普通	普通	普通	9
10	ある	普通	普通	普通	ある	普通	10
11	普通	普通	普通	普通	普通	普通	12
12	ある	普通	悪い	悪い	普通	ある	8
13	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13

14	普通	濃い	普通	普通	ある	普通	12
15	ある	普通	普通	普通	ある	普通	10
16	普通	普通	普通	普通	ない	普通	13
17	普通	濃い	普通	普通	ない	普通	14
18	ある	薄い	普通	普通	普通	普通	10
19	ある	濃い	普通	普通	ある	普通	11
20	ある	薄い	普通	普通	普通	普通	10
21	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
22	ある	薄い	普通	普通	ない	普通	11
23	普通	濃い	普通	普通	ある	普通	12
24	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
25	ある	薄い	悪い	普通	普通	普通	9
26	普通	濃い	良い	普通	ない	普通	15
27	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
28	普通	濃い	普通	普通	ある	普通	12
29	ある	濃い	良い	普通	ある	普通	12
30	普通	濃い	良い	普通	ある	普通	13
31	ある	普通	普通	普通	ある	普通	10
32	普通	濃い	普通	普通	ない	普通	14
33	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13
34	ある	薄い	悪い	普通	普通	普通	9
35	普通	普通	普通	普通	普通	普通	12
36	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13
37	普通	普通	普通	普通	普通	普通	12
38	ある	薄い	普通	普通	普通	普通	10
39	普通	普通	普通	普通	ない	普通	13
40	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
41	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13
42	ある	普通	普通	普通	ある	普通	10
43	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13
44	ある	薄い	悪い	普通	普通	普通	9
45	ある	濃い	普通	普通	普通	普通	12
46	ある	薄い	悪い	普通	普通	普通	9
47	普通	濃い	良い	普通	普通	普通	14
48	ある	普通	普通	普通	普通	普通	11

49	普通	濃い	良い	普通	ない	普通	12
50	普通	濃い	普通	普通	普通	普通	13

点数による評価

- ・インク色の変退色（ない3点、普通2点、ある1点）、・色の濃淡（濃い3点、普通2点、薄い1点）
- ・色合い（良い3点、普通2点、悪い1点）、・発色性（良い3点、普通2点、悪い1点）
- ・色むら（ない3点、普通2点、ある1点）、・紙の黄化（ない3点、普通2点、ある1点）

表3.) HM 膠液（タンパク質限定分解）の粘度計測値

時間	c P	%	時間	c P	%	時間	c P	%
0 秒	619	13.3	5 分 30 秒	94	2.0	10 分 30 秒	70	1.5
1 分	253	5.3	6 分	89	1.9	11 分	70	1.5
1 分 30 秒	220	4.3	6 分 30 秒	89	1.9	11 分 30 秒	70	1.5
2 分	173	3.8	7 分	84	1.8	12 分	66	1.4
2 分 30 秒	159	3.4	7 分 30 秒	84	1.8	12 分 30 秒	66	1.4
3 分	141	3.0	8 分	84	1.8	13 分	66	1.4
3 分 30 秒	131	2.8	8 分 30 秒	84	1.8			
4 分	127	2.7	9 分	80	1.7	14 分	66	1.4
4 分 30 秒	103	2.2	9 分 30 秒	75	1.6			
5 分	98	2.1	10 分	75	1.6	20 分	66	1.4

（粘度計：Brook Field DVE VISCOMETER、スピンドル:06 番を使用）

- ・cP（センチポイズ）：粘度を表す単位、・RPM（ローテーション パー ミニッツ）：1 分間の回転数、
- ・%（トルクパーセント）：粘度計のゼンマイとスピンドルの直結から流動抵抗の歪の計測値

水温 25.5℃、PH6.8（中性に調整）

表4.) HM 膠（タンパク質限定分解後の冷却粘度）

時間	水温	c P	%	時間	水温	c P	%
0 秒	13℃	98	2.1	18 分	0℃	75	1.6
2 分	11℃	84	1.8	20 分	-1℃	75	1.6
4 分	8℃	75	1.6	22 分	-1.5℃	80	1.7
6 分	7℃	70	1.5	24 分	-1.5℃	98	2.1
8 分	6℃	66	1.4	26 分	-2℃	103	2.2
10 分	5℃	61	1.3	28 分	-2℃	103	2.2
12 分	4℃	61	1.3	30 分	-2.5℃	112	2.4
14 分	2℃	61	1.3	32 分	-3℃	127	2.7
16 分	1℃	61	1.3	34 分	-3.3℃	131	2.8

(粘度計 : Brook Field DV-E VISCOMETER、スピンドル:06 番を使用)

水温 25.℃

水温 -3.3℃であっても、ビーカー底の膠液のみがゼリー化しただけで、十分に計測可能であった。

表 5.) つぶ膠液の粘度計測値

時間	c P	%	時間	c P	%	時間	c P	%
0 秒	459	9.8	6 分 30 秒	80	1.7	12 分 30 秒	56	1.2
1 分	150	3.2	7 分	80	1.7	13 分	56	1.2
1 分 30 秒	136	2.9	7 分 30 秒	75	1.6	13 分 30 秒	56	1.2
2 分	127	2.7	8 分	75	1.6	14 分	56	1.2
2 分 30 秒	117	2.5	8 分 30 秒	75	1.6	15 分	56	1.2
3 分	108	2.3	9 分	75	1.6	16 分	56	1.2
3 分 30 秒	103	2.2	9 分 30 秒	75	1.6	17 分	56	1.2
4 分	98	2.1	10 分	70	1.5	18 分	56	1.2
4 分 30 秒	98	2.1	10 分 30 秒	66	1.4	19 分	56	1.2
5 分	89	1.9	11 分	66	1.3	20 分	52	1.2
5 分 30 秒	84	1.8	11 分 30 秒	61	1.3	30 分	47	1.0
6 分	84	1.8	12 分	61	1.3	50 分	47	1.0

(粘度計 : Brook Field DV-E VISCOMETER、スピンドル:06 番を使用)

水温 25.℃、PH6.86 (中性に調整)

表 6.) つぶ膠 (タンパク質限定分解後の冷却粘度)

水温	c P	%	水温	c P	%
40℃	28	0.6	10℃	61	1.3
30℃	37	0.8	9℃	61	1.3
25℃	42	0.9	8℃	61	1.3
20℃	47	1.0	7℃	61	1.3
19℃	47	1.0	6℃	61	1.3
18℃	52	1.1	5℃	61	1.3
17℃	52	1.1	4℃	66	1.4
16℃	52	1.1	3℃	70	1.5
15℃	52	1.1	2℃	75	1.5
14℃	56	1.1	1℃	80	1.7
13℃	56	1.2	0℃	94	2.0
12℃	56	1.2	-0.5℃	117	2.5

11℃	61	1.3	-0.8℃	127	2.7
-----	----	-----	-------	-----	-----

（粘度計：Brook Field DVE VISCOMETER、スピンドル:06番を使用）

水温 25.℃

水温-0.8℃であっても、膠液のゼリー化はなく、計測可能であった。

表 7.) 三千本膠液の粘度計測値

時間	c P	%	時間	c P	%	時間	c P	%
0 秒	61	1.3	5 分 30 秒	47	1.0	11 分	42	0.9
30 秒	56	1.2	6 分	42	0.9	11 分 30 秒	42	0.9
1 分	56	1.2	6 分 30 秒	42	0.9	12 分	42	0.9
1 分 30 秒	56	1.2	7 分	42	0.9	13 分	42	0.9
2 分	52	1.1	7 分 30 秒	42	0.9	14 分	37	0.8
2 分 30 秒	52	1.1	8 分	42	0.9	15 分	37	0.8
3 分	47	1.0	8 分 30 秒	42	0.9	16 分	33	0.8
3 分 30 秒	47	1.0	9 分	42	0.9	17 分	33	0.7
4 分	47	1.0	9 分 30 秒	42	0.9	18 分	28	0.6
4 分 30 秒	47	1.0	10 分	42	0.9	19 分	28	0.6
5 分	47	1.0	10 分 30 秒	42	0.9	20 分	23	0.5

（粘度計：Brook Field DVE VISCOMETER、スピンドル:06番を使用）

水温 25.℃、PH6.6（中性に調整）

表 8.) 三千本（タンパク質限定分解後の冷却粘度）

水温	c P	%	水温	c P	%	水温	c P	%
40℃	28	0.6	14℃	33	0.8	1.5℃	47	1.0
30℃	28	0.6	13℃	37	0.8	1℃	52	1.1
25℃	28	0.6	12℃	37	0.8	0.5℃	56	1.2
24℃	28	0.6	11℃	37	0.8	0℃	56	1.2
23℃	33	0.7	10℃	37	0.8	-0.5℃	56	1.2
22℃	33	0.8	9℃	37	0.9	-1.0℃	61	1.3
21℃	33	0.8	8℃	37	0.9	-1.2℃	66	1.4
20℃	33	0.8	7℃	37	0.8	-1.5℃	66	1.4
19℃	33	0.8	6℃	37	0.8	-2.0℃	66	1.4
18℃	33	0.8	5℃	37	0.8	-2.2℃	70	1.5

17°C	33	0.8	4°C	42	0.9	-2.5°C	75	1.6
16°C	33	0.8	3°C	42	0.9	-2.8°C	94	2.0
15°C	33	0.8	2°C	47	1.0	-3.0°C	103	2.2

(粘度計 : Brook Field DV-E VISCOMETER、スピンドル:06番を使用)

水温-3.0°Cであっても、ビーカー底の膠液のみがゼリー化しただけで、十分に計測可能であった。

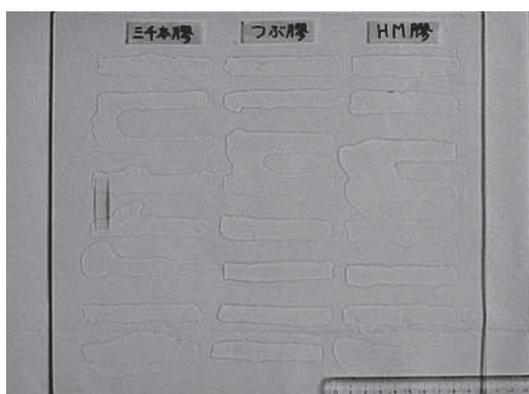


図 5.) ガラスに酵素分解膠液 (3種) を塗布

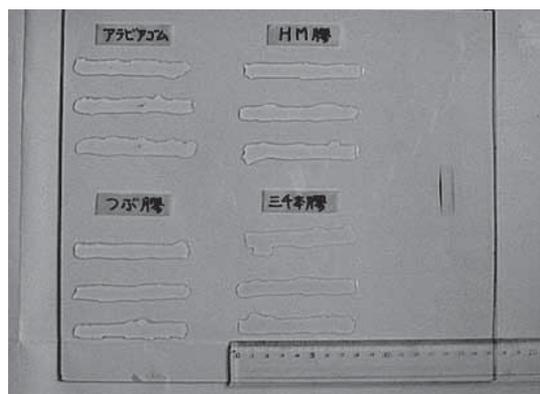


図 6.) ガラス板にアラビアゴムと膠3種を塗布



図 7.) クヌギハマルタマフシ (タマバチ科)  
ブナ科



図 8.) クヌギハマルタマフシ (タマバチ科)  
ブナ科

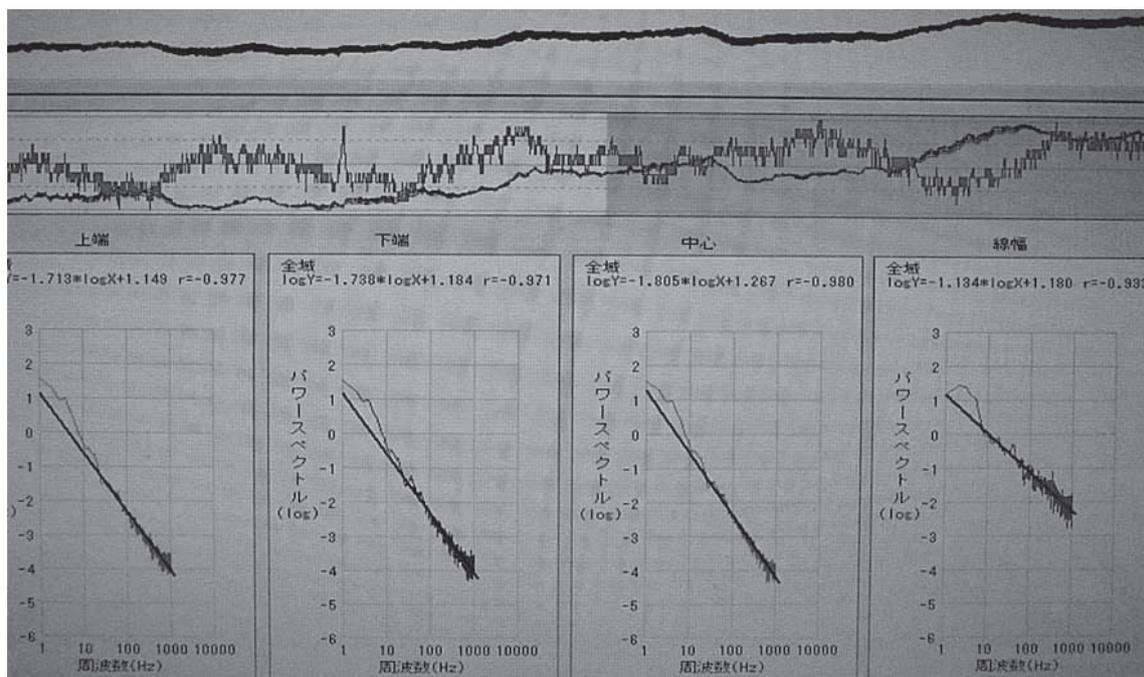


図 9.) 筆者の羽根ペンゆらぎ（フーリエ変換）

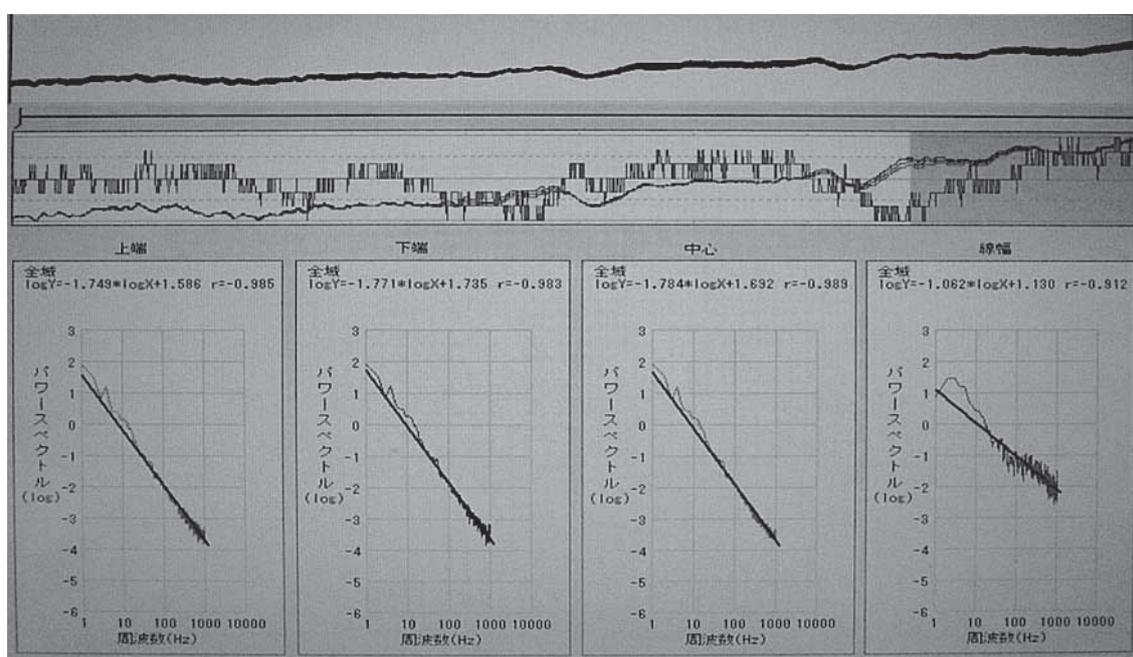


図 10.) 筆者の羽根ペンゆらぎ（フーリエ変換） 1 分間の瞑想後

