

虫えいの組織学的観察およびアントシアニン組成の調査

加藤信行¹・吉玉国二郎²・岩科 司³

KATO, Nobuyuki¹, Kunijiro YOSHITAMA² and Tsukasa IWASHINA³ :
A Microscopic Observation and a Survey of Anthocyanins on Insect Galls

植物の葉、茎および芽などにさまざまな形態のこぶが生じる。これらのほとんどは、昆虫の寄生によって植物組織が異常な発育をしたもので、虫えい (insect gall) と呼ばれる。その中に含まれる多量のタンニン、鉄分などと反応して黒い沈殿を生じ、またタンパク質を変性凝固させるはたらきがある。そのため、虫えいは古くから医薬、インクの製造、獣皮のなめし、そして布・草・毛髪・歯などを黒く染める染色などに利用されてきた。

虫えいは、シダ植物、裸子植物、および多くの被子植物に形成される (薄葉 1995, 湯川・榊田 1996)。そして、被子植物の虫えいには赤色を呈するものが多い (奥野ら 1984, 湯川・榊田 1996)。植物に生成される主な赤色色素はアントシアニンである。その定性および分布に関する研究は、色素の生理、生化学的な研究の基礎として重要なだけでなく、化学的指標物質として分類学や生態学の発展にも大きく貢献すると思われる。この見地から西欧において、また日本においても種子植物の葉、花被、果実などについて広範なアントシアニン調査が行われてきた。それらの結果は、Harborne *et al.* (1975), Harborne and Mabry (1982), Harborne (1988) によってアントシアニン地図に作成されている。日本の種子植物界に関する報告は、吉玉・石倉 (1983) によって集成されている。

日本の植物界におけるアントシアニンの分布調査はその後も続けられている。Iwashina and Ootani (1987) は、日本産を主とした12種のナデシコ科植物の地上部、茎および花などに含まれるフラボン類とアントシアニンの同定を行った。Yoshitama *et al.* (1992) はノブドウ (*Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv.) の液果の外果皮に含まれる4種類のアントシアニンと2種類のフラボノール配糖体を同定した。さらに、液果の赤紫から青への果色変化は、アントシアニンとフラボノールのコピグメンテーションと組織のpHの増加によって起こる事を明らかにした。また、加藤 (1986, 1989, 1994, 1995) は、ペーパークロマトグラフィー (PC) と薄層クロマトグラフィー (TLC) とを併用して、マルバマンサク (*Hamamelis japonica* Sieb. & Zucc. var. *obtusata* Matsumura), 斑入り葉, ヤマグルマ (*Trochodendron aralioides* Sieb. & Zucc.), フサザクラ (*Euptelea polyandra* Sieb. & Zucc.) などについて色素調査を行った。すでにPCやTLCを用いた定性分析によって、ベタシアニン色素によるナデシコ目 (Caryophyllales) のアカザ科など9科を除いて (岩科 2001), 紅葉の色素はほとんどすべてアントシアニン配糖体のcyanidin 3-*O*-glucoside (chrysanthemine) であることが示されている (Hayashi and Abe 1955, 加藤 1982)。しかし最近、Iwashina (1996) は、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を応用して、21科63種の紅葉色素について調査した。そして、その精緻な分析結果に基づいて、cyanidin 3-*O*-galactoside (idaein) が

¹ 〒950-2036 新潟市新通西2丁目24-14, Shindouri-nishi 2-24-14, Niigata-shi, 950-2036.

² 熊本大学理学部大学院自然科学研究科. 〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto-shi, 860-8555.

³ 国立科学博物館 筑波研究資料センター 筑波実験植物園. Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Tsukuba, 305-0005.

多くの種で主要、あるいは微量成分としてchrysanthemिनと共存している事、またベニシタン (*Cotoneaster horizontalis* Decne.)、コゴメウツギ (*Stephanandra incisa* L.f.)、ナツツバキ (*Stewartia pseudo-camellia* Maxim.) およびホツツジ (*Elliottia paniculata* (Sieb. & Zucc.) Benth. & Hook.) の紅葉では、主要アントシアニンはいだえのみであるという新知見を報告した。しかし、これまでの研究にもかかわらず、日本の植物界の広範なアントシアニン地図の作成はまだ不完全であり、未調査の植物も多い。特に、虫えいで生成されるアントシアニンについての分析は加藤 (1998, 1999) がヤマザクラ (*Prunus jamasakura* Sieb. ex Koidz.) やタブノキ (*Machilus thunbergii* Sieb. & Zucc.) の虫えいで報告しているにすぎない。Harborneらのアントシアニン分布調査によると、Santamour (1967) はアブラムシの吸汁刺激によってspruce tree (トウヒ類) の芽に形成された虫えい中にcyanidin 3-O-glucosideを検出しているが、その他の報告はなされていない。虫えいの中には、寄生昆虫の生態と密接に関連して、色調や硬さが著しく変化するものがある。これはアントシアニン地図の作成のみならず、生理学的側面からも興味深い現象である。本研究は、虫えいの種特異的形態が形成されるしくみなど、まだ未解決の問題の解明にも役立つ事と思われる。そこで今回さらに5種の葉、2種の芽、1種の果実に形成された赤色の虫えいについて形状の観察、組織学的観察および色素組成分析を行った。本稿では既報のヤマザクラおよびタブノキの虫えいの分析結果を加えて比較考察した。

虫えいの形状と組織学的観察

虫えいが形成された植物は、新潟市内および近郊において、主に5月下旬から6月中旬に採集された。ガマズミ (*Viburnum dilatatum* Thunb.) は11月上旬に採集された。またチシマザサ (*Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino & Shibata) は8月下旬に栗駒山 (宮城県栗原郡栗駒町) で採集された。

赤い虫えいの徒手切片を作り、水でマウントして内部構造と色素の局在部位を検鏡した。次いで、プレパラートのカバーガラスの端に薄い水酸化ナトリウム水溶液を滴下して観察を続け、赤色色素を含む細胞の色調の変化を調べた。その結果、総ての材料について、細胞の色調は赤から紫、そして青緑色に徐々に変化した。この顕微化学的予備調査から、材料に含まれる赤色色素は総てアントシアニンであることが推定された。

サクラハチヂミフシ： ヤマザクラの切り株に生じた徒長枝から採取した。アブラムシの寄生によって新葉が裏面側に著しく捲縮して形成される。凹凸が激しい。また肥厚して硬くなり、鮮紅色を呈する (Fig. 1-1)。

上面表皮組織は、比較的大きい細胞と単細胞の突起から成る。アントシアニンは生成されにくい。内部の柔細胞は小さくて不規則に配列する。色素は維管束鞘とその周囲の柔細胞、および上面表皮下数層の柔細胞に形成されやすい。特に、表皮に接する部位が著しく赤い (Fig. 2-1)。

サクラハトサカフシ： 校地に植樹されたソメイヨシノ (*Prunus ×yedoensis* Matsumura) から採取した。アブラムシの寄生によって葉表に細長い袋状の虫えいが数個形成される。最初は黄白色であるが、次第に黄緑色～紅色になる。しかし、5月下旬～6月中旬に、有翅アブラムシが裏面に生じた開口部から脱出すると乾燥して硬化し、褐色のミイラ状になる (Fig. 1-2)。

内部の柔組織には、大小さまざまな細胞が不規則に存在する。維管束は、内側表皮に偏って分布する。アントシアニンは外側と内側表皮に生成されやすい。外側表皮下数層の柔組織にも生成されやすい (Fig. 2-2)。

タブノキハウラウスフシ： タマバエの寄生によって、主に1年生葉の裏面の主脈に沿って両側に列をなして密に形成される。白型で、表面は滑らかな緑色である。秋になって虫えいが顕著に膨らみ始めると、葉身が表面側に捻転し、また葉柄が茎側へ屈曲する。その結果、葉裏が陽光

に当たりやすくなり、光を受けた虫えいは濃い赤色に変わる (Fig. 1-3)。内部には細長い円筒状の幼虫室が1個あり、幼虫が1匹入っている。幼虫室の壁は厚く、出口に小さな蓋が付いている。それが4月～6月に落ち、蛹から羽化した成虫が脱出する。空になった虫えいはしばらく新鮮な状態で葉に残っている。

表皮組織は、密に配列する小さい細胞からなる。表皮下の1, 2層の柔細胞は比較的小さい。内部の柔細胞は大きく、不規則に集まっている。アントシアニンは表皮と表皮下1～6層程の柔細胞に含まれる。著しく濃い赤色の細胞が表皮下1, 2層に分布していた。柔細胞には非常に多くの白色の粒が含まれているが (Fig. 2-3)、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液を滴下すると黒紫色を呈したので、この含有物はでん粉粒であることが確かめられた。

ハルニレハフクロフシ： アブラムシの寄生によって葉裏に鮮紅色の袋状の虫えいが多数形成される。形や大きさは著しく異なる (Fig. 1-4)。しかし、6月～7月上旬に虫えいの側方が裂開して有翅虫が脱出すると、黒褐色のミイラ状になる。

外側の表皮細胞は比較的大きい。また、長さが異なる単細胞の突起が多数認められる。内側の表皮組織は不明瞭である。内部は、大きさが著しく異なる不規則な形態の柔細胞からなる。アントシアニンは表皮および柔組織に生成される。特に、上面表皮およびそれに接する1層の柔細胞に多量に生成される (Fig. 2-4)。正常な赤い幼葉の場合、色素は柵状組織と海綿状組織に一樣に濃く含まれるが、上面表皮には赤色の細胞が散在する程度である。

ケヤキハフクロフシ： アブラムシの寄生によって葉表に緑色の硬い袋状の虫えいが数個、または多数形成される。先端は丸く、基部は細くくびれて葉に付着する。次第に赤色を呈するものがある。5月下旬～6月上旬に側方が裂開して有翅虫が脱出すると、虫えいは茶褐色に変色して残る (Fig. 1-5および1-6)。

外側表皮は、小さい細胞が規則正しく配列し、一樣に赤色を呈する。内側の表皮は不明瞭である。虫えい壁の内部に、大きさと形が様々な厚膜細胞が不規則に集合した、おおよそ層状の部分がある。その外側に比較的小さい、不定形の柔細胞が1～数層集まった部分があり、濃い赤色を呈する。一般に表皮下1層目に特に濃い赤色の細胞が多く見られる。虫えい壁の大部分を占める内部の柔組織は、不定形で比較的大きい細胞からなり、淡赤色を呈する。稀に濃い赤色の細胞が見られる (Fig. 2-5)。

ブナハマルタマフシ： タマバエの寄生によって幼葉の一部が表裏両面に肥厚したほぼ球形の虫えいである。表面は平滑で赤い (Fig. 1-7および1-8)。1個の幼虫室に1匹の幼虫が入っている。幼虫室の壁は厚くて硬い。

クリメコブズイフシ： クリタマバチの寄生によって新芽が球形に肥大した虫えいである。表面が滑らかで、数枚の小さな奇形葉が付いている。陽光が当たる面は美しい赤褐色で、陰側は淡赤色を帯びた黄緑色である (Fig. 1-9)。内部は木質で硬く数個の幼虫室があり、1室に1匹の幼虫が入っている。

表皮に単細胞の突起がある。表皮下数層の細胞は細胞壁が厚い。また、大きさ、形そして配列が不規則である。内部には、不定形の大きい柔細胞が不規則に分布する。アントシアニンは表皮と表皮下2層程の部位に一樣に濃く生成される (Fig. 2-6)。

チシマザサメヒメササウオフシ： タマバエの寄生によって芽に形成された紡錘型の虫えいで、一般に笹魚といわれる。その表面は、6枚程の変形した稈鞘に被われて赤褐色を呈していた (Fig. 1-10)。稈鞘とその先端に付随した小さな葉身の横断切片を検鏡した結果はFig. 2-7および2-8の通りであった。

ガマズミミケフシ： タマバエの寄生によって、液果が直径7.0～11.0 mmの球形に肥大した虫えいである。秋に正常実が鮮やかな赤色になるのに対して、虫えいは一般に淡緑～淡紅色である

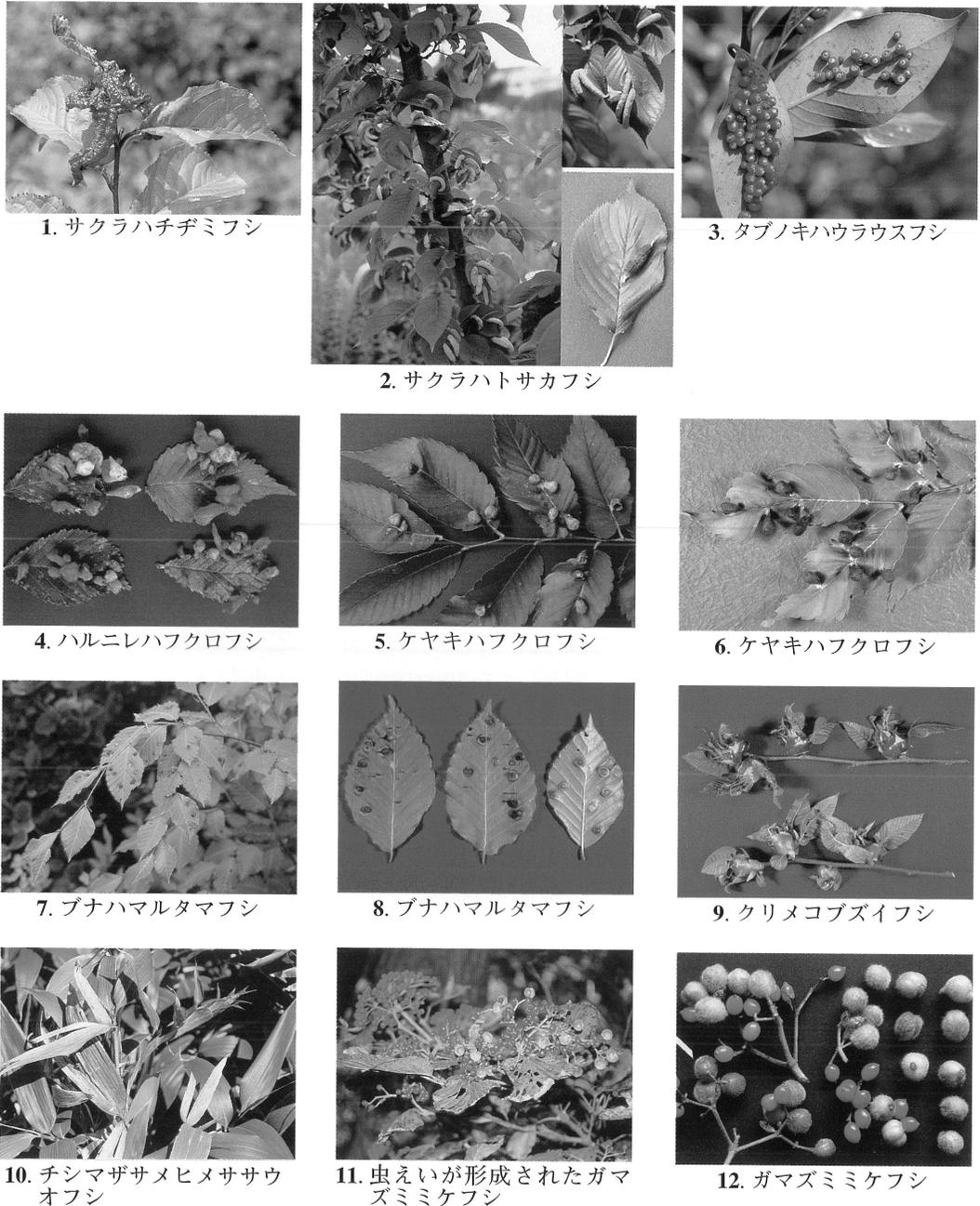
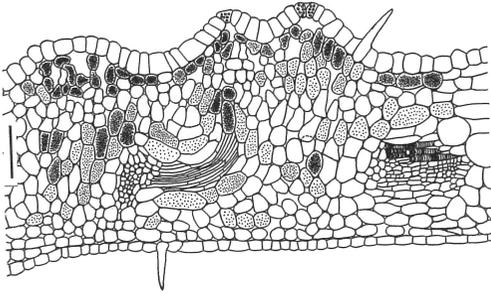
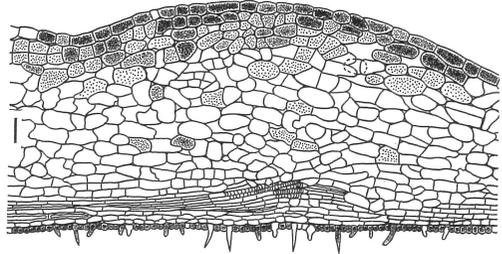


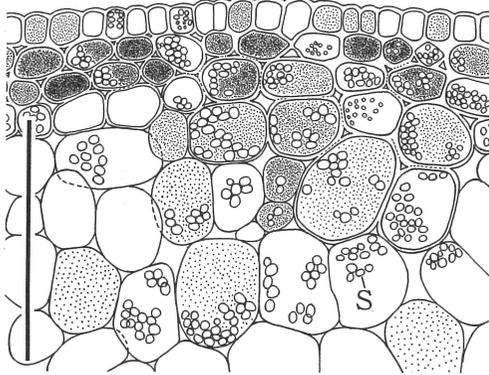
Fig. 1. Photographs of various red insect galls. 1 = Cyrindric gall of *Prunus jamasakura*, 2 = Cristate galls of *Prunus* × *yedoensis*. Right, from the top: newly formed galls; gall from which aphids with wings has escaped, 3 = Mortar-shape gall of *Machilus thunbergii*, 4 = Sack-shape galls of *Ulmus davidiana* var. *japonica*, 5 = Sack-shape galls of *Zelkova serrata*, 6 = Sack-shape galls of *Z. serrata* from which aphids with wings has escaped, 7 = Juvenile branch of *Fagus crenata* with parasitized leaves, 8 = Round gall of *F. crenata*. Right: underside of a leaf; left: upside of a leaf, 9 = Young twigs with knob-shape galls of *Castanea crenata*; the upper one: galls in the sun, the lower one: galls in the shade, 10 = Fish-shape galls of *Sasa kurilensis*, 11 = shrub of *Viburnum dilatatum* with galls, and 12 = Red and round galls of *V. dilatatum* (arrow).



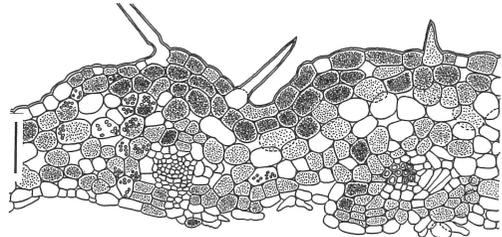
1 サクラハチヂミフシ



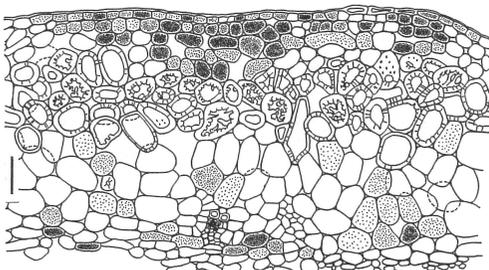
2 サクラハトサカフシ



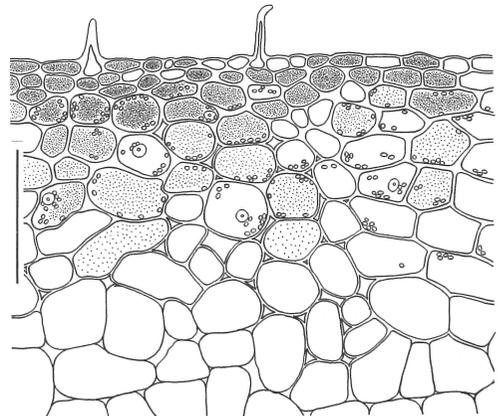
3 タブノキハウラウスフシ



4 ハルニレハフクロフシ

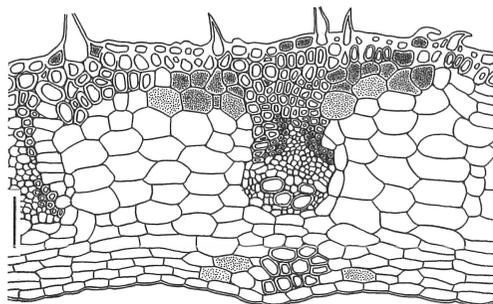


5 ケヤキハフクロフシ

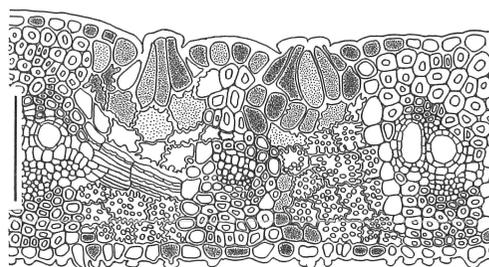


6 クリメコブズイフシ

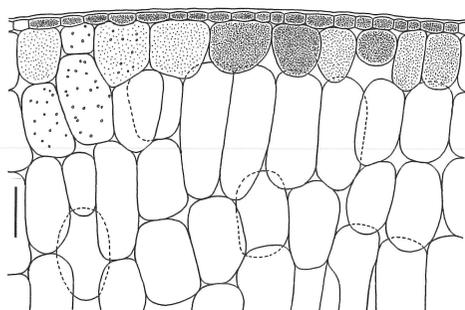
Fig. 2. The histological distribution of anthocyanins in red insect galls. 1 = Cylindric gall of *Prunus jamasakura*, 2 = Cristate gall of *Prunus x yedoensis*, 3 = Mortar-shape gall of *Machilus thunbergii*, 4 = Sack-shape gall of *Ulmus davidiana* var. *japonica*, 5 = Sack-shape gall of *Zelkova serrata*, 6 = Knob-shape gall of *Castanea crenata*. The cells with black dots in the figures illustrate red coloured cells with anthocyanin pigments dissolved in vacuole. Scale bars represent 0.1 mm. S: starch grain.



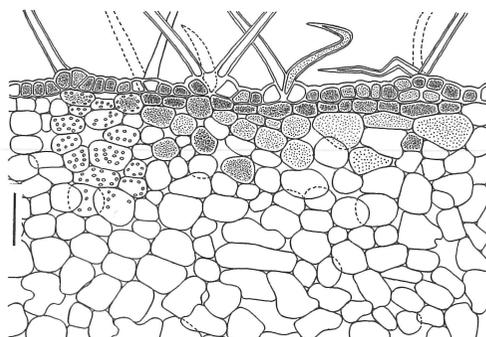
7 ヒメササウオフシの変形した稈鞘



8 ヒメササウオフシの退化葉身



9 ガマズミの液果 (正常)



10 ガマズミミケフシ

Fig. 2. — (continued) —

7 = Aberrant culm sheath of *Sasa kurilensis*, 8 = Reduced leaf blade of *S. kurilensis*, 9 = Normal berry of *Viburnum dilatatum*, and 10 = Gall of *V. dilatatum*.

が、濃い赤色のものもしばしば見られる。表面には黄白色の短毛が密生している (Fig. 1-11および1-12)。なお虫えいは、晩秋液果がまだ十分に熟していない時期に地上に落下し、朽ち葉色に変色する。幼虫は其中で越冬する。

柔細胞の大きさは、正常な液果のものに比べて著しく小さい。また、形と配列が不規則である。表皮には単細胞の、長さの異なる毛が多く見られる。アントシアニンは表皮細胞と表皮下数層の柔細胞に含まれるが、特に表皮とそれに接する柔細胞の色調が濃い。まれに毛にも含まれる (Fig. 2-9および2-10)。

色素の精製と定性分析

赤色の虫えいを採取した後、速やかに真空デシケータ中、塩化カルシウム上で乾燥させた。その材料を粉碎し、0.5%メタノール性塩酸を浸る程度加えて1夜冷蔵庫に保存した。抽出液を濾過した後、濾紙 (Toyo No. 50, 40×40 cm) および展開溶剤: BAW (*n*-ブタノール:酢酸:水 = 4:1:5, V/V), 次いでAAH-1 (酢酸:塩酸:水 = 3:1:8, V/V) を用いてmass-PCを2回繰り返して行ってアン

Table 1. Content ratio and Rf values of anthocyanins PG1 and PG2 in the cristate gall of *Prunus × yedoensis*, and Rf values of their aglycones and authentic specimens

Pigments	Content ratio	Rf values of anthocyanins (×100)				Rf values of aglycones (×100)	
		Bu2NH	BAW	1%HCl	AAH-2	Forestal	FAH
Anthocyanins of gall							
PG1	9	23.0	50.5	5.5	24.7	50.3	25.1
PG2	1	31.9	54.2	14.1	43.4	50.1	24.5
Authentic specimens							
Cy3Glc		23.4	50.8	5.1	24.5		
Cy3RhamGlc		32.0	55.1	14.5	43.5		
Pelargonidin						77.6	39.5
Peonidin						68.6	36.7
Cyanidin						50.3	25.1
Malvidin						65.6	35.0
Petunidin						46.8	20.9

* Anthocyanin abbreviations : Cy3Glc = cyanidin 3-O-glucoside (chrysanthemine), Cy3RhamGlc = cyanidin 3-O-rhamnosylglucoside (keracyanin).

**Solvent abbreviations : Bu2NH = *n*-BuOH/2N HCl (1:1, v/v, upper layer), BAW = *n*-BuOH/HOAc/H₂O (4:1:5, v/v, upper layer), AAH-2 = HOAc/conc.HCl/H₂O (15:3:82, v/v), Forestal = HOAc/conc.HCl/H₂O (30:3:10, v/v), FAH = HCOOH/conc.HCl/H₂O (5:2:3, v/v)

1) The value was calculated at 530 nm with Hitachi Spectrophotometer Model 200-10.

Table 2. Rf values and spot colours with colour reagents of sugars from anthocyanins PG1 and PG2 of cristate gall of *Prunus × yedoensis* and those of the authentic sugars

Sugars	Rf values (×100)		Spot colours
	A*	B*	
Sugar from PG1	43.0		brown
Sugars from PG2		39.6	brown
		60.2	brown
Authentic sugars			
Glucose	43.2	40.1	brown
Rhamnose	69.3	60.1	brown
Galactose	39.4	34.8	brown
Arabinose	49.6	43.6	red
Xylose	55.8	50.6	red

1) Ascending procedure using the solvent of *n*-BuOH/pyridine/H₂O (6:4:3, V/V) at 29°C with Toyo No. 51 filter paper.

2) With aniline-phthalate reagent.

* differnt chromatograms.

トシアニンを分離・精製した。濾紙を風乾させた後、色素帯の3/4を色素同定用に、他を色素組成比の測定用に切り分けた後、0.1%塩酸を含む80%メタノール（再抽出液）を使い、下降法によって各色素帯から色素をほぼ完全に溶出させた。得られた色素溶液を各調査の試料とした。

常法（武田・林 1988）に従い、微結晶セルロースプレート（フナセル）を用いたTLCによってアグリコン調査、アントシアニン調査、部分加水分解産物の調査を行った。もとの配糖体およびアグリコンのRf値は同時に展開した標準試料のRf値と注意深く比較した。また、薄層プレートに紫外光を照射して配糖体のスポットの蛍光の有無を調べ、その結果からアグリコンに結合する糖の位置を判定した。次いで、試料色素溶液をアンバーライトXADを用いたカラムクロマトグラフィーによってさらに精製した。流出色素液約70 mlを3 ml程に減圧濃縮した後、等容の20%塩酸を加え、水浴上90°Cで30分間加水分解を行った。冷却後、イソ・アミルアルコールを加えて、アグリコンを振取した。下層（水層）は真空デシケータ中、粒状水酸化ナトリウム上で減圧乾涸した。残渣を極少量のメタノールに溶かして、結合糖調査の試料とした。標準試料と共に濾紙（Toyo

Table 3. Anthocyanins identified and their content ratios in insect galls, normal young leaves and a fruit

Plant materials	Plant parts, (Form of gall), Color	Anthocyanins identified and content ratio ¹⁾
Gramineae		
<i>Sasa kurilensis</i> (チシマザサ)	bud (fish-shape gall), purplish red	Cy3Glc(6)+Cy3Rt(4)+PnGly (+)+PnGly(t)
Fagaceae		
<i>Fagus crenata</i> (ブナ)	leaf (round gall) reddish brown	Cy3Gal(10)+PgGly(t)
<i>Castanea crenata</i> (クリ)	young leaf ²⁾ , reddish brown bud (knob-shape gall), reddish brown	Cy3Gal(10)+PgGly(+) Cy3Glc(10)+PnGly(+) +Cy3Rt(t)+PgGly(t)
Ulmaceae		
<i>Zelkova serrata</i> (ケヤキ)	leaf (sack-shape gall), red young leaf ²⁾ , reddish brown	Cy3Glc(10) Cy3Glc(10)+Cy3,5Glc(+) +CyGly (2 kinds, +) Cy3Glc(10)
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> (ハルニレ)	leaf (sack-shape gall), crimson young leaf ²⁾ , reddish brown	Cy3Glc(10)
Lauraceae		
<i>Machilus thunbergii</i> (タブノキ)	leaf (mortar-shape gall), dark red young leaf ²⁾ , reddish brown	Cy3Rt(7)+Cy3Glc(3) +PnGly(t) Cy3Rt(7)+Cy3Glc(3) +PnGly(t)
Rosaceae		
<i>Prunus jamasakura</i> (ヤマザクラ)	leaf (cylindric gall), crimson young leaf ²⁾ , reddish brown	Cy3Rt(8)+Cy3Glc(2) Cy3Rt(8)+Cy3Glc(2)
<i>Prunus</i> × <i>yedoensis</i> (ソメイヨシノ)	leaf (crystate gall), red young leaf ²⁾ , reddish brown	Cy3Glc(9)+Cy3Rt(1) Cy3Glc(6)+Cy3Rt(4) +PnGly(t)
Caprifoliaceae		
<i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)	fruit (round gall), crimson fruit (normal), orange red	Cy3XyGlc(10)+Cy3Glc(t) Cy3XyGlc(10)+Cy3Glc(+)

Abbreviations : Pg = pelargonidin, Cy = cyanidin, Pn = peonidin, Glc = glucoside, Rt = rutinoside (rhamnosylglucoside), Gal = galactoside, XyGlc = xylosylglucoside, Gly = glycoside.

1) Figures in parentheses give approximate ratio (out of 10). (t) = trace, (+) = presence.

2) Normal young leaf with no parasite.

No. 51B) に添着し, BPW (*n*-ブタノール : ピリジン : 水 = 6:4:3, V/V) を用いて一次展開を行った。風乾後, アニリン水素フタレート試薬を用いて糖のスポットを発色させた。スポットのRf値および色を比較検討して, 結合糖を判定した。以上の実験結果を総合的に判断して, 虫えいに含まれるアントシアニンを同定した。

最後に, 色素組成比測定用試料に上記の再抽出液を加えて一定体積にした後, 分光光度計を用いて吸収極大 (530 nm) における吸光度を測定し, その値から色素組成の含有比を算出した。

以上の実験結果の1例をTable 1および2に示した。その他, 薄層クロマトグラムに紫外光 (365 nm) を照射した結果, PG1とPG2のスポットはいずれも蛍光を発しなかった。また, 部分加水分解によって, PG1は中間産物が生じないで, 直接アグリコン (cyanidin) へ移行した。しかし, PG2の場合は1種類の間産物が生じ, そのRf値はchrysanthemिनのものと同じだった。中間産物はさらに加水分解されてアグリコン (cyanidin) へ移行した。これらの結果から, 赤いサクラハトサカフシに含まれる主要色素PG1はcyanidin 3-O-glucoside (chrysanthemिन), 少量色素PG2はcyanidin 3-O-rhamnosylglucoside (keracyanin) と同定した。

上記の手順で、他の植物の虫えいおよび虫害を受けていない正常な幼葉に含まれるアントシアニンを同定し、その結果をTable 3に示した。幼葉に直ちに形成されるブナハマルタマフシやサクラハチヂミフシの場合、その色素組成は幼葉のものと同一であった。しかし、サクラハトサカフシやケヤキハフクロフシは、葉の生長に伴い徐々に肥大して緑色を呈し、葉が成熟した後に赤色に変化する。この場合、虫えいの色素組成は幼葉のものと異なり、2糖配糖体の生成が抑制された。これと同じ現象が紅葉においても起こることは興味深い。すなわち、幼葉のアントシアニンは、cyanidin 3,5-di-O-glucoside (cyanin) やkeracyaninなどのcyanidinの2糖配糖体がしばしば単独で、またはchrysanthemинと共存して見出される (Yoshitama *et al.* 1972)。しかし、紅葉の色素は極めて単純でcyanidinの単糖配糖体 (chrysanthemинまたはidaein) が主成分になっている。例えば、イロハモミジ (*Acer palmatum* Thunb.) やオオモミジ (*Acer amoenum* Carr.) などの幼葉にはkeracyaninとchrysanthemинが共存するが、紅葉のアントシアニンはほとんどchrysanthemинのみで構成されている (Ishikura *et al.* 1972, Ji *et al.* 1992)。すなわち、サクラハトサカフシなどの虫えいと紅葉における色素生成は共通の代謝によると推定される。

考 察

Table 3で示されるように、虫えいで生成されるアントシアニンはcyanidin系の色素が最も一般的であった。しかし、配糖体のタイプでは種ごとの違いが見られた。なぜアントシアニンが虫えい形成に伴って顕著に生成されるのか。この疑問については生理学的にまだ解明されていないが、虫えい形成時にカルス化、木化なども観察されることから、おそらく植物の障害に伴う二次代謝の活性化により色素生成過程が刺激された結果だと考えられる。今後はさらに未調査の虫えいについて色素調査を継続するとともに、虫えい形成過程における組織変化と色素生成時期、および色素が含まれる部位についてさらに詳細に観察していきたい。

Summary

Insect galls and the anthocyanins distributed in the gall cells were observed with microscope. Anthocyanins were generally distributed in upper epidermal cells and/or 2-3 layers of parenchyma cells under epidermal cells. The distribution profiles are different in each gall cell and also different from those of sprout, young leaves and fall colored leaves with no parasite of the same plants.

In addition, anthocyanins produced in insect galls were isolated and identified chromatographically. Seven anthocyanins with three types of aglycones, cyanidin, peonidin and pelargonidin were detected. Cyanidin 3-O-glucoside (chrysanthemин) was the most popular anthocyanin followed by cyanidin 3-O-rhamnosylglucoside (keracyanin) and cyanidin 3-O-xylosylglucoside (or cyanidin 3-O-galactoside, idaein) in order. Anthocyanin constituents of insect galls appeared at early stage of leaves were the same as those of young leaves with no parasite in *Fagus crenata* and *Prunus jamasakura* (Table 3). In contrast, anthocyanin constituents of the insect galls, which grow with leaf growth and are colored red at the mature stage of leaves, were different from those of young leaves with no parasite in *Zelkova serrata* and *Prunus yedoensis*; their anthocyanin constituents in galls were the same as those of fall colored leaves.

文 献

Harborne, J.B., T.J. Mabry and H. Mabry (eds.), 1975. The Flavonoids. Chapman and Hall, London.

- and ——— (eds.), 1982. *The Flavonoids: Advances in Research*. Chapman and Hall, London.
- (ed.), 1988. *The Flavonoids: Advances in Research Since 1980*. Chapman and Hall, London.
- Hayashi, K. und Y. Abe, 1955. Studien über Anthocyane. XXVII. Papierchromatographische Übersicht der Anthocyane im Pflanzenreich (II). Farbstoffe des roten Herbstlaubes. *Bot. Mag. Tokyo* **68**: 299-307.
- Ishikura, N., 1972. Anthocyanins and other phenolics in autumn leaves. *Phytochemistry* **11**: 2555-2558.
- 岩科 司, 2001. ベタレイン色素を合成する植物の科におけるフラボノイドとその分布 (総説). 筑波実験植物園研究報告 **20**: 11-74.
- Iwashina, T. and S. Ootani, 1987. Characterization of C-glycosylflavones and anthocyanins in several species of Caryophyllaceae. *Ann. Tsukuba Bot. Gard.* **6**: 19-30.
- , 1996. Detection and distribution of chrysanthemin and idaein in autumn leaves of plants by high performance liquid chromatography. *Ann. Tsukuba Bot. Gard.* **15**: 1-18.
- Ji, S.R., M. Yokoi, N. Saito and L.-S. Mao, 1992. Distribution of anthocyanins in Aceraceae leaves. *Biochem. Syst. Ecol.* **20**: 771-781.
- 加藤信行, 1982. 草本植物の紅葉におけるアントシアニンの定性とその分布. 新潟県生物教育研究会誌 **17**: 1-6.
- , 1986. マルバマンサクのアントシアニン色素. 新潟県生物教育研究会誌 **21**: 1-7.
- , 1989. 斑入葉の組織学的観察およびアントシアニン色素調査. 新潟県生物教育研究会誌 **24**: 35-41.
- , 1994. ヤマグルマの葉に含まれるアントシアニン色素. 新潟県生物教育研究会誌 **29**: 1-5.
- , 1995. フサザクラの葯および葉に含まれるアントシアニン色素. 新潟県生物教育研究会誌 **30**: 45-49.
- , 1996. ヤマザクラおよびモミジイチゴのゴールに含まれるアントシアニン色素. 新潟県生物教育研究会誌 **31**: 47-51.
- , 1999. タブノキの虫えいおよび幼葉に含まれるアントシアニン色素. 新潟県生物教育研究会誌 **34**: 5-8.
- , 吉玉国二郎, 2001. 虫えいに形成されるアントシアニン色素の分析. 日本植物学会第65回大会研究発表記録. p.178.
- 加藤 真, 1995. 虫こぶの話. 週刊朝日百科. 植物の世界 **62**: 62-64.
- 奥野孝夫・田中 寛・木村 裕, 1984. 原色樹木病害虫図鑑. 保育社・東京.
- Santamour, F.S., 1967. Anthocyanins in spruce foliage. *Morris Arboretum Bull.* **18**: 41-42.
- 武田幸作・林 孝三, 1988. 色素群の定性・定量分析各論—実験上の留意点. 林 孝三 (編) 増訂植物色素—実験研究への手引—. 養賢堂・東京. pp.151-174.
- 薄葉 重, 1995. 自然史双書6 虫こぶ入門. 八坂書房・東京.
- 吉玉国二郎・石倉成行, 1988. 日本の植物界におけるアントシアニン色素の分布. 林 孝三 (編) 増訂植物色素—実験研究への手引—. 養賢堂・東京. pp.481-511.
- Yoshitama, K., M. Ozaku, M. Hujii and K. Hayashi, 1972. A survey of anthocyanins in sprouting leaves of some Japanese angiosperms—Studies on anthocyanins, LXV. *Bot. Mag. Tokyo* **85**: 303-306.
- , N. Ishikura, T. Fuleki and S. Nakamura, 1992. Effect of anthocyanin, flavonol co-pigmentation and pH on the color of the berries of *Ampelopsis brevipedunculata*. *J. Plant Physiol.* **139**: 513-518.
- 湯川淳一・梶田 長, 1996. 日本原色虫えい図鑑. 全国農村教育協会・東京.