

2 植物の葉はなぜ季節や環境により色を変えるのか

～ペーパークロマトグラフィーを用いた色素の分析～

1 研究の動機

これまでの2年間の研究を通して、植物の葉について疑問点がでてきた。それは同じ種の植物でも葉の色が季節や生えている場所の環境により異なるということである。秋に紅葉する植物があるということは、当然のように知っていたが、この紅葉は秋だけではないようだ。一年を通じて観察していると、秋にも紅葉するが春や夏にも赤色や黄色に変色する葉が見られることにたいへん興味をもった。それは気温や日照量とも関係がありそうである。葉緑体は緑色であるので、葉の色の違いは光合成量に何らかの影響を及ぼすに違いないと考えた。そこで本年度は植物の葉の色素の組成の違いを調べ、葉の色の変化が季節や環境とどう関係しているのかを考察することにした。

2 研究の目的と仮説

I 日照量が多い日向に生えているドクダミの葉は赤いが、日陰のドクダミの葉は緑なのはなぜか。

ドクダミは低機能で身体が健康であるようにできているところへ、急に日光を浴びると、そんなに日光をあびても十分に光合成できないし、光合成しすぎることにより正常な機能でなくなってしまうため、光合成量をわざと少なくするために、葉の色を赤くしているのだと考えた。

II 同じ種でも葉の色が異なるのはなぜだろうか。

出てきたばかりの新芽は表面積も小さく、厚さも薄いので葉緑体が少ないのではないか。葉緑体が少ないために、十分な光合成ができないのだろう。

III 葉が枯れて落葉するときに黄色や赤色に変色するのはなぜか。

葉が落葉する時になぜ黄色や赤色になるかについては、たぶん葉緑体があると植物は頑張って日光をあびて光合成を行うが、光合成を行わなくてもよい状態になると、葉緑体が少なくなるのではないか。

IV 同じ植物の葉でも緑色が濃いものと黄緑色のものがあるのはなぜか。

濃い緑色の葉には葉緑体が多く存在する。そのためにクロロフィルが多く含まれている。黄緑色の葉には、葉緑体の数が少なく、クロロフィルの量も少ないのではないか。

3 研究方法

(1) 校内・西山の植物の葉の色の継続的な調査・観察

校内の植物の葉の色について観察し記録をする。研究の目的にそって、4つの葉の色の変化が見られる植物について、その様子を写真をとり特徴を記録した。

I 出てきたばかりの新しい葉が赤っぽくて、やがて葉が成長するにつれて緑色が濃くなる。

II 出てきたばかりの新しい葉が緑色で、やがて赤色に変色していく。

III 出てきたばかりの新しい葉、成長した葉が緑色だが、落葉するために赤色や黄色に変わる。

IV 同じ個体から出ている葉であるが、緑色の濃さが異なる。

(2) 観察して気になった植物の葉を採集し、ペーパークロマトグラフィーで分析する。

① 植物の葉の色を観察し写真等で記録し葉を採集する。

② 採集した葉1～2枚をはさみで細かく刻み、乳鉢ですりつぶす。

- ③ エタノールを10滴ほど乳鉢に滴下し色素を溶かし出す。
- ④ 色素を溶出したエタノール液を、プラスチックコップに入れる。
- ⑤ ろ紙に色素液を吸わせ、展開する。
- ⑥ 15分ほど放置し、展開された色素の種類や成分比を調べる。
 - a 緑色…クロロフィル系 b 黄色…カロテノイド系
 - c 赤色…アントシアン系

そこで分離した色素の色を見て、それぞれが有する色素をチェックした。

- ⑦ 葉とろ紙をカラーコピーで記録する。記録用紙には、カラーコピーを添付して整理していく。



図1 記録用紙

- (3) 記録用紙を整理・分析し、それをもとに、4つの疑問について考察する。考察の過程で新たにでてきた疑問や課題を解決するために実験方法を考え、以下の実験を進め考察した。

〈実験1〉葉の断面を顕微鏡で観察し色素の違いを調べる。

〈実験2〉日陰のドクダミを移植し日向に置くと葉の色がどう変わるか。

〈実験3〉赤い葉にはデンプンがどのくらいできているのか。

- ① ヨウ素液を用いて葉のデンプン量を調べる。
- ② エタノールに溶けだしたクロロフィルの違いをみる。
- ③ 葉の断面を顕微鏡で観察する。

〈実験4〉赤い色素は本当にアントシアンなのか。

〈実験5〉赤い新芽に袋をかぶせて日照量を減らしたら葉の色がどう変わるか。

4 研究結果

- (1) 校内・西山の植物の葉の色の継続的な調査・観察

I 出てきたばかりの新しい葉が緑色で、やがて赤色に変色していくタイプ。

ドクダミ、アカシソ、カシワバアジサイ、サツマイモなどが校内で確認できた。

II 出てきたばかりの新しい葉が赤くやがて葉が成長するにつれて緑色が濃くなるタイプ。

サクラ、ウメ、モモなどのバラ科、アカメガシワ、ヤブニッケイ、ヒサカキ、ドウダンツツジ、アセビなどが校内で確認できた。

III 出てきたばかりの新しい葉、成長した葉が緑色だが、落葉するときに赤色や黄色に変るタイプ。

アオキ、カクレミノなどの樹木の他、キク科の植物、ツユクサ、カラムシが確認できた。

IV 同じ個体から出ている緑の葉であるが、緑色の濃さが異なるタイプ

ほとんどの植物が葉により緑の濃さが微妙に異なる。

- (2) ペーパークロマトグラフィーによる分析

5月より7月まで80種類以上の分析を行い、次のようなことがわかった。

- ・緑の葉には、緑色の色素（クロロフィル）と黄色の色素（カロテノイド）が両方とも含まれる。クロロフィルがしだいに少なくなっていくと、葉はだんだん黄色みを帯びてくる。
- ・葉が完全に黄色になっている葉には 黄色の色素（カロテノイド）のみが含まれ、クロロフィルは存在しない。
- ・アオキのように黄色のふ入りの葉も、ふ無しの葉も、両方とも緑色の色素（クロロフィル）黄色の色素（カロテノイド）が含まれる。ふの部分にはカロテノイドだけがあるので黄色に見えている。
- ・葉の一部が赤みがかった葉には、緑色の色素（クロロフィル）と 黄色の色素（カロテノイ

ド) 赤色の色素（アントシアン）が3種類とも含まれる。

- ・赤みを帯びた葉には、新芽（出てきたばかりの葉で枝の一番先の葉）が赤いものと、初めは緑であったが、後に何かの原因で赤色に変わるものがある。いずれのタイプも色素は、緑葉のもつクロロフィル・カロテノイドに加えて、3つ目の色素アントシアンが含まれる。

5 考察

緑色の植物の葉に含まれている色素は、クロロフィルとカロテノイドである。クロロフィルは光合成を行う色素である。光の量が少なかったり、水分が少なかったりして光合成がうまく進まないと、植物は葉を落としてしまう。その結果落葉前にクロロフィルは少なくなっていく。これを図で表すと、右の図2のようになる。

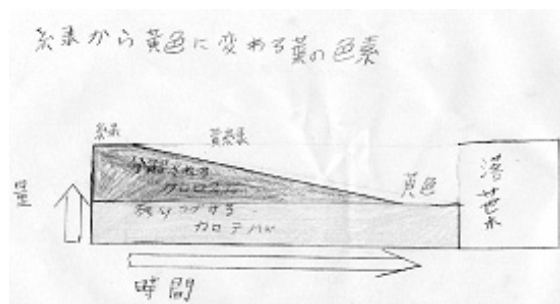


図2 緑から黄色に変わる葉の色素

黄色のカロテノイドの量よりも、緑のクロロフィルのほうが多いほど葉の色は濃い緑になる。クロロフィルがしだいに少なくなっていくと黄緑に近くなり、黄色のカロテノイドの方が多いと葉の中に黄色の占める割合が多くなり葉が黄色っぽくなる。日があまりあたらない等の環境条件の悪化により光合成量が著しく減ると、植物は役に立たない不要な葉を落葉させようとする。

〈実験1〉 葉の断面を顕微鏡で観察すれば、緑色の濃淡が確認できるのではないかという意見が出て、コリウスの葉を観察してみた。結果は緑の濃い部分とうすい部分、黄色っぽい部分があった。濃い緑の部分はクロロフィルがたくさんあり、うすい部分はクロロフィルが少ない部分黄色っぽいところはカロテノイドだけの部分であると考えられる。

ドクダミの葉がはじめ緑であるのに、日照量が多いと赤っぽくなるということは観察から容易に予想された。赤っぽい葉には、緑の葉に共通に含まれていたクロロフィルとカロテノイドの他に、アントシアンという赤い色素が存在することがクロマトグラフィーの結果から明らかになっている。ここでまず落葉時に葉がだんだん赤くなっていく様子について、モデル図3のように考えてみた。クロロフィルが分解され、アントシアンが増えていくと葉の色はしだいに赤っぽくなる。最終的にはアントシアンとカロテノイドだけになるころ、離層ができ、落葉すると思った。3つの色素の割合により葉の色が変わってくる。

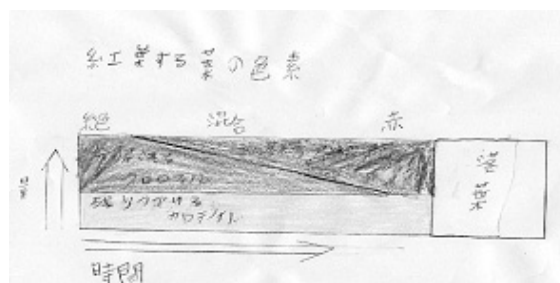


図3 紅葉する葉の色素

〈実験2〉 西山のドクダミを鉢に移植し、もっと照度の高い場所に置いてみる。日照量が原因であれば、葉は赤く変わってくるに違いない。こう考え実験したところ、やはり日当たりが良いところに移植したドクダミの葉は赤みがかってきた。

「ドクダミはなぜ強い日光にあたると葉を赤くするのだろうか」夏の暑い日、頭に強い日差しがあたる。赤い色素はドクダミにとっては「帽子」なのではないか。日陰の好きなドクダミは少ない日光で十分生きていくのに必要な光合成ができるようなからだの仕組みができています。なのに強い日差しにさらされると、いつもの状態とは変わって赤く変色してしまうのだろう。日光が強いと、光合成で使用する日光の量よりも光の量がオーバーしてしまう。余分な光が体内に入ると体内の温度が上昇したりする原因になるので光を反射してはね返そうとする。赤い斑点はそのため

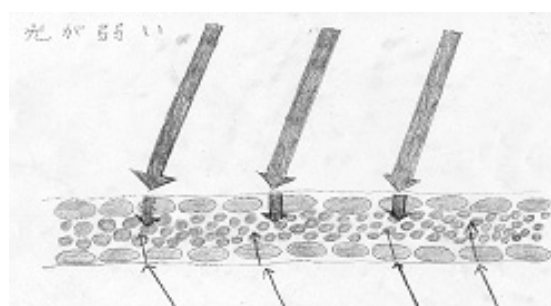


図4 日光が弱いときの葉

射されてしまう。斑点が赤い理由は、葉に届く余分な赤い光をはね返したいためである。

〈実験3〉 赤みを帯びている葉にどれくらいデンプンができているのかを調べてみよう。

赤・緑・黄混のコリウスは葉の先端が少しデンプン反応が薄かったがそれ以外の部分はほとんど真っ黒に見えるくらい青紫のデンプン反応が出ていた。赤コリウスはほんの少しであるがデンプン反応が出た。赤く見えている部分にもほんの少しではあるが、クロロフィルが含まれていることがわかった。

〈実験4〉 赤い色素は本当にアントシアンなのか

赤いシソの葉と赤いコリウスの葉をそれぞれ水を加えた乳鉢の中ですりつぶし、色素液を出したあと、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液をそれぞれ入れていき変色のしかたを調べた。どちらも塩酸を入れると赤色になり、水酸化ナトリウム水溶液を入れると黄色になった。葉の持つ赤の色素の正体はアントシアンであるということがわかった。出てきたばかりの新芽はやわらかく、葉も薄く、そこに含まれるクロロフィルの量も少ない。したがって光合成をできる量も限られている。

そんな新芽は枝の先端にあるため、たいへん強い光があたる。そこで、植物はアントシアンの「帽子」をかぶるのではないだろうか。そしてクロロフィルがたくさんでき、強い日光を十分に光合成に使えるようになると赤の帽子を脱いでいく。

〈実験5〉 赤い新芽に帽子をかぶせて日照量を少なくしてやれば、葉の色は緑になるだろう。

そこで赤い新芽に、黒のビニール袋や、白いネットをかぶせて色の変化を見ると、モモ、ドウダンツツジ、カシワバアジサイ、アカメガシワ、テイカカズラは、予想通り赤みがかった葉が緑色になった。赤っぽい新芽は、その日差しを遮るものがあるので余分な光が葉の中にさしこむ心配がなくなったため、赤い光を反射させるアントシアンは不要になり、少しでもクロロフィルの量を増やし、赤い光をたくさん吸収しようとする。その結果、赤い葉が緑になったのではないかと考えた。

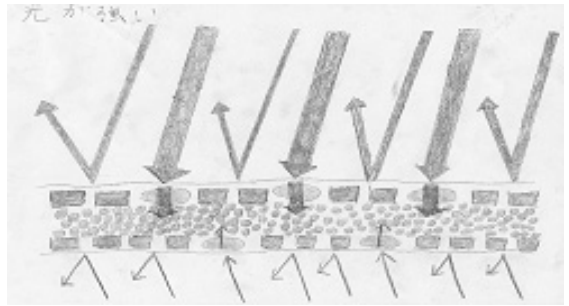


図5 日光が強いときの葉



図6 新芽の赤がぬける葉の色素

6 感想・反省

葉は緑から黄、緑から赤に色を変えることは知っていた。それはただ枯れていくからだと思っていたが、植物が生き抜くための目的をもってしていることだと分かった。植物の葉の色素のことが、植物の光合成の働きと結びつけて考えることができた。植物は日照量によって色素を合成したり分解したりして、葉の色を目的を持って変えている。実に複雑な仕組みであると思った。初め植物は緑色のクロロフィルだけで光合成を行っていたが、青の光も吸収し光合成に使えるようにカロテノイドという色素を同時に葉の中にもつようになったのではないか。このようなことも進化といえるのではないだろうか。

7 参考文献

- | | | | | |
|-------------|-------------------|--------|----------|---------|
| 街なか自然体験のヒント | NPO法人 富士の国学校ビオトープ | 鈴木 芳徳著 | 2008年3月 | |
| 紅葉のふしぎ | 科学のアルバム | 佐藤有恒著 | あかね書房 | 1991年2月 |
| 静岡ふしぎ探検 | 静岡サイエンスミュージアム研究会著 | 静岡新聞社 | 2007年12月 | |