

〈山崎賞〉

11 「エノキを材料に植物の形態的特性を探る」

1 序論

植物は動物と異なり運動能力を持たず、移動によって生育環境を選ぶことはできない。したがって、植物体は群落内における様々な環境要因に対して順応性を発達させることで、生存を図ってきたはずである。特に光合成を営む植物にとっては光環境が最も重要な環境要因となり、他植物との光競争に打ち勝てるように様々な形態を発達させている。

このうち、生物の教科書を読むと、光合成系である葉の形態が、光環境によって陽葉と陰葉に分化することが記されている。ということであれば、枝などの非光合成系も光環境に応じて変化して、植物体に与えられた限定量の光を効率的に利用しているはずである。そこで、光合成系と非光合成系に注目して、植物体の構造について解析を行いたいと考えた。

2 実験材料

実験材料としては落葉樹のエノキを利用した。焼津中央高校の周辺にはエノキの生育が多く、様々な光環境に応じて、エノキの生育が観察できる。エノキは、単一の枝に複数の葉を分化させ、深い葉層を持つため、同一個体内でも陽葉と陰葉の分化が著しい樹木である。今回の実験では、焼津中央高校の校舎の南西にあるエノキの樹木を用いて、同一の個体の南側と北側の枝を伐採し、南側の葉を陽葉、北側の葉を陰葉と仮定して、光環境に応じたエノキの構造を分析することにした。

3 実験目的

以下の仮説を調べることを目的とした。

①同一個体においても、光環境の違いにより、形態的な違いが生じる。

(南向きの枝には陽葉が、北向きの枝には陰葉が付く。)

②光合成系である葉と非光合成系である枝には、密接な関係がある。

4 実験方法

(1) 以下の実験器具を用いた。

のこぎり、ビニール袋、軍手、はさみ、剪定はさみ、ビニールテープ、ノギス、方眼紙、ものさし、電子天秤、データ処理用のパソコン、電子天秤

(2) 以下の手順で実験を行った。

ア 枝の採集

平成18年8月8日、焼津中央高校の敷地内にあるエノキから、同一の高さにある北向きと南向きの枝を2本、のこぎりで伐採した。

イ 試料の切り分け

図1に示したような方法で、採取した枝の付け根を1として(北向きの枝は最初を1-1とした)、枝を分岐ごとに番号で標識し、ビニールテープでそれぞれの番号を記して貼っていった。同一の枝から2本以上の小枝が分岐している場合は、元の枝を支枝として、支枝の分岐番号に①・②・③の丸番号を記入したものを小枝の番号とした。一通りテープを貼った後、番号付けに誤りが無いかを確認してから、剪定ばさみで分岐ごとに切り分けた。このとき、各枝についた葉は重さを測定した後に、枝の分岐番号を記入したビニール袋に封入した。保存する必要がある試料葉は冷凍庫で保存した。

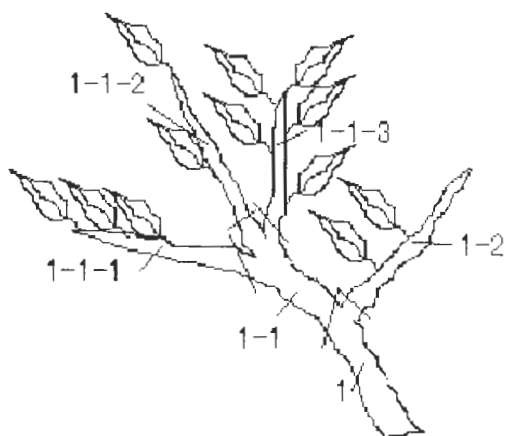


図1 試料における分岐番号の記入例

ウ 試料の測定

剪定はさみで切り取った枝は、枝の長さ(cm)、重量(g)、切断面における直径(mm)を測定した。葉については縦と横の長さを物差しで測定した。次に、方眼紙の1~30cm²の重量を測定した表を基準として、方眼紙に葉の外形を写し取り、その方眼紙の重量により葉の面積を求めた。各枝の番号を記入した葉を詰めた袋から、それぞれ任意に選んだ3枚の葉の重量・各長さ・面積を測定して、それぞれの平均値を求めた。その後、その枝に付いていた葉の枚数を掛けて、その枝に付いていた葉の総重量・総長さ・総面積として、表1のように整理して記入した。

表1 各枝に付いていた葉のデータの記入例

分岐	葉の枚数	葉の重量(g)	葉の長さ(cm)	葉の横径(mm)	面積(mm ²)
12211	4	①	0.10	5.10	2.60
12211		②	0.14	6.50	3.30
12211		③	0.14	6.10	3.40
12211	平均値		0.13	5.90	3.17
12211	総量	0.51	23.60	12.67	41.91

枝1-2-2-1-1に付いていた葉のデータの整理例。この枝には4枚の葉が付いており、3枚の葉のデータを①・②・③に記入した。この3枚の葉の平均値を記入して、この平均値に

葉の枚数分×4をした値を総値とした。この表の場合、枝1-2-2-1-1に付いていた葉の総重量は平均値0.13g×4枚≒0.51gとなる。

エ データ処理

以上の測定を終えた段階で、それぞれの枝と葉について、葉の枚数・葉の重量・葉の面積・葉の長さ・枝の長さ・枝の重量・枝の直径のデータが得られた。これらのデータをパソコンを用いて、エクセルソフトによりデータ処理およびグラフ作成を行った。

5 実験試料の比較(外見)

今回の実験では南向きの枝に付く葉を陽葉、北向きの枝に付く葉を陰葉と仮定して実験を行っている。その仮定が正しいのかどうかを調べるため、比較用として、東向き枝から任意に葉を100枚ほど採取して、葉の特性を調べた。

なお、これらの3種類の枝はすべて同一の高さの枝から採取し、それぞれの枝の特徴や外見は表2の通りであった。

表2 採取した枝の外見の比較

	A (南向き)	B (北向き)	C (東向き)
枝の付き方	枝の方向には偏りが無く、空間的な占有率が一帯大きかった。枝は太いものが多かった。	それぞれの枝は長く、垂直方向よりも水平方向への伸びが大きかった。枝は細いものが多かった。	途中から南方向へ枝の方向を転じているものがあった。
葉	一般に葉は小さく、色は鮮やか。葉の重なりが多かった。葉の枚数は多く、葉と葉の間隔は狭かった。	水平方向に伸びた枝上において、葉も水平方向に分布していた。葉と葉の間隔は南向きの枝よりも広かった。	葉は多く、1つの枝に付いている枚数が多かった。葉の色は比較的うすかった。

今回の実験の中心

6 実験結果と考察

(1) 同一の植物個体における葉の特性

教科書では、陰葉は陽葉に比べて、形態的な特徴として、葉の断面が薄く、葉面積が広いと書かれている。これは少ない光を効率的に利用して光合成をするために、下層への光の透過率を高め、光合成量を増やす目的で行っているためである。つまり、葉の重量が等しいとき、陰葉は葉面積がより広くなる。

そこで、同一の植物でも陰葉や陽葉を付けるのかを調べるために、異なる三方向の枝に付いている葉を重量と葉面積の関係を図示した(図2参照)。

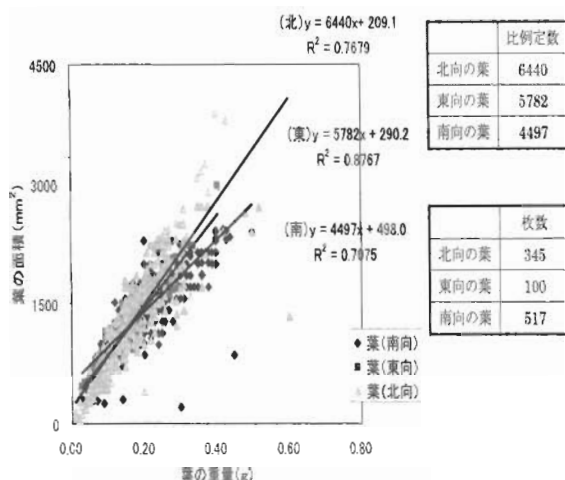


図2 各枝における葉の重量と葉の面積の関係

図2 各枝における葉の重量と葉の面積の関係

図1のグラフより、北向きの葉は南向きの葉よりも葉面積が広がる傾向が見られる。

ここで、グラフにおける比例定数は、葉の重量が等しいときの葉面積に関係している。これらの比例定数を比較すると、光が当たりにくい方向に行くほど、つまり北側に行けばいくほど、同一の葉の重量での葉面積が広がるのが分かる。具体的には、北向きの葉は南向きの葉よりも、1.43倍ほど葉面積が広い傾向があることになる。(6440÷4497)

ここから、北向きの葉は陰葉の形態的性質を持ち、南向きの葉は陽葉の形態的性質を持つと判断した。

(2) 葉の成長方向

葉の成長方向が横方向か縦方向か調べるために、葉面積と葉の横および縦の長さの関係を図3に示した。

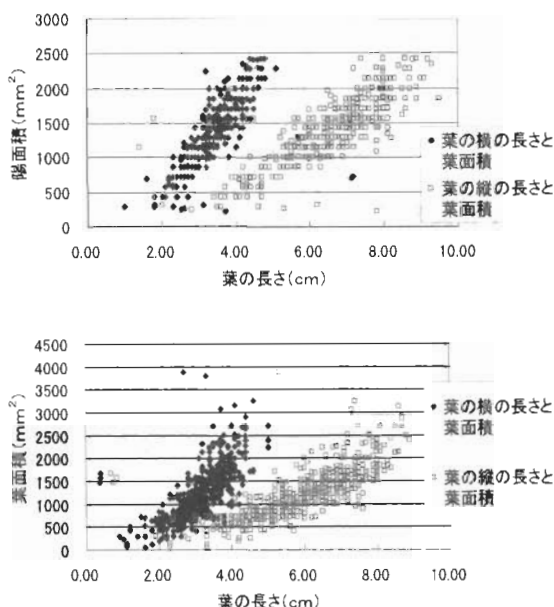


図3 上 葉の長さとの面積の関係(南向きの枝)
下 葉の長さとの面積の関係(北向きの枝)

図3より、エノキでは葉面積と葉の縦および横の長さとの正比例の関係を取ることが分かる。面積は縦の長さ×横の長さであるから、葉面積が広がる時には両方向へ伸長することが分かった。

さらにグラフより、葉の横の長さの変化の幅よりも、葉の縦の長さの変化の方が幅広いことが分かった。これは簡単に言うと、葉が大きくなるとき、葉は横よりも縦方向に伸長するためであろう。これは葉が横に広がると、これより下層の葉に光が届きにくくなり、全体の光合成量が減少してしまうためだと考えられる。これはイネ科植物の葉の付き方と同じで、広葉型の植物でも、葉の成長方向は縦方向に成長するのが基本だと思われる。

(3) 枝と葉の関係

緑色植物の木では、光合成のために葉を枝につける必要がある。つまり、非光合成系の枝も光合成系の葉量を決定する上で、大きく貢献しているはずである。この仮定に基づき、ある地点の枝の上部にある枝(長さや重量)と葉の面積の合計値の関係をグラフ化することにした。例えば、図1の地点1-1を考える。地点1-1は上部にある枝(1-1-1、

1-1-2、1-1-3)やそこに付いている葉の全てを支えている。したがって、地点1-1における枝の重量や直径と、その上部にある葉の総面積には何らかの関係が見られるはずである。さらに、ある地点より上部の枝の長さの合計値と葉の総面積の関係をなどをグラフ化することにする。

まず、ある地点の上部の枝の長さの合計値と、上部にある葉の総面積の関係を図4に示した。

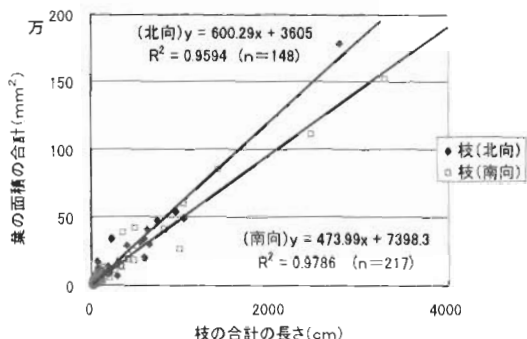


図4 枝の長さの合計とその上の葉の面積
(Y軸の単位は×10000である)

縦軸は $\text{mm}^2 \times 10,000$ であり、大半のデータ(一般の小枝)は原点付近に集中している。したがって、伐採した枝の付け根付近のデータが、グラフの外形を決定している。

図4より、枝の長さの合計値と葉の面積の合計値には比例関係があることが分かる。例えば、北向きの枝の葉面積を 1 m^2 増加させるときの条件を考えると、図4より、北向きの枝の長さ(X軸、単位cm)と葉の面積(Y軸、単位 mm^2)には以下の関係式が成り立つことが言える。

$$Y = 600.29 X + 3,605 \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

葉面積 1 m^2 は、 $1,000,000 \text{ mm}^2$ に相当するので、式③のYに代入すると、 $X \approx 1,660$ となる。これより、北向きの枝の葉面積を 1 m^2 増加させるときは、枝の長さを $1,660 \text{ cm}$ 増加させることが分かる。これより、一定の葉量の増加には一定の枝量の増加が必要であることが示される。

さらに、この枝の長さや葉の付き方では、北向きの枝の方で比例定数が大きく、傾きが高い直線

となった。これは同じ長さの枝が南および北で張っているとき、北の方が葉面積が大きくなることを意味する。しかし、北の方角の枝では最小の枝の量で最大の葉面積を確保していると読みとるべきであろう。同様に、ある地点の枝の重さとその上部にある葉の面積の合計値をグラフ化したものが図5である。

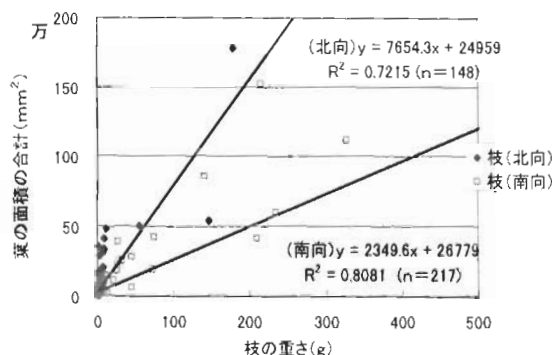


図5 枝の重さとその上の葉の面積
(Y軸の単位は×10000である)

図5より、枝の重さと葉の面積には比例の関係が成り立つことが読みとれる。これはある地点の枝はそれより上部の葉(や枝)を全部支える必要があるため、上部にある葉量が多くなれば、枝の重量が増加することを意味している。

例えば、北向きの枝の重量(X軸、単位g)と葉の面積(Y軸、単位 mm^2)には以下の関係式が成り立つ。

$$Y = 7654.3 X + 24,959 \quad \dots \dots \textcircled{4}$$

式④から、北向きの枝の葉面積を 1 m^2 増加させるときは、枝の重量を 128 g 増加させることが分かる。これより、一定の葉量の増加には一定の枝量の増加が必要であることが示される。

さらに、伐採した枝において、ある地点の枝の切断面の垂直直径とその上部にある葉面積の合計値をグラフ化したものが図6である。

7 今後の課題

今回の実験では、同一の個体のエノキを用いたが、様々な光環境において生育する別々のエノキの光合成系と非光合成系の量的関係はどうなるのか、また、エノキ以外の木本でも今回の実験で示したような関係が認められるのか、確認する必要があるだろう。

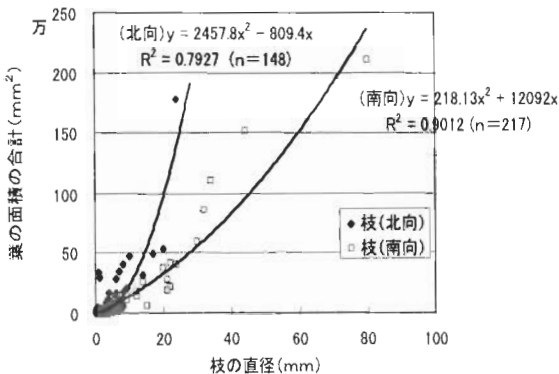


図6 枝の切断面の直径と、その上に付いていた葉面積の合計(Y軸の単位は10000である)

図6より、(枝の直径)²とその上部の葉面積の合計値に比例の関係があることが分かる。(枝の直径)²に円周率および1/4を掛けてやれば、枝の切断面での面積になることから、図6の意味するところは、枝の太さとその上部に支える葉量には相関があるということである。つまり、一定量の葉を支えるためには一定の太さの枝が必要になることを、図6は示している。

また、同一の太さの枝で比較すると、北向きの枝は南向きの枝よりも細い枝で葉面積を広く保つことができることが分かる。弱光条件の北方向でも、より光合成量を多くするための工夫が取られている。

図4および図5、図6から、弱光の北方向の枝は、南向きの枝よりも細い枝で、より少ない重量の枝で、より少ない枝の長さで、光合成に必要な葉面積を保っていることが読み取れる。さらに、枝量と葉面積には密接な関係があることが分かる。つまり、植物は光合成量を増やしたくても、葉量のみを増大させることはできない。葉量を増大させるためには、増加する葉量に対応だけの、非光合成系である枝の太さや重さ、長さを増大させないといけない。

これより、一定の葉量の増加には一定の枝量の増加が必要であることが示され、光合成系と非光合成系には密接な関係があることが示された。

参考文献

- ①「高等学校 生物Ⅰ」数研出版2002年
- ②「高等学校 生物Ⅱ」数研出版2002年
- ③「植物の物質生産」野本宣夫、横井洋太著、東海大学出版会、1981年
- ④「森林の生態」E.G. ニール著、河出書房、1973年
- ⑤「生態学と社会」伊藤嘉昭著、東海大学出版会、2003年

※データ数が膨大なため、データの詳細については掲載を省略しました。