

植物の葉序

浜松日体高等学校

科学研究部 2年 植村 友奈、市田 春音、大村 優佳

1 はじめに

通学路や校庭に自生している植物を観察していると、わずかではあるが葉の色に違いがあることや、葉のつき方にも様々なパターン（葉序）があることに気付いた。このことから我々は、植物の受光戦略に興味を持った。「葉序は、葉の形状（長径と短径の比）や受光面積に関係している。」と仮説を立て、調査・検証を行った。

2 葉序について

植物の葉は、茎の周りにある規則を持って配置されており、一般的にそれは葉序と呼ばれている。葉序として、 $1/2$, $1/3$, $2/5$, $3/8$, $5/13$, $8/21$ などが知られている。例えば、 $2/5$ と表される葉序は、連続する葉が2回転の内に5枚あることを示している（図. 1）。

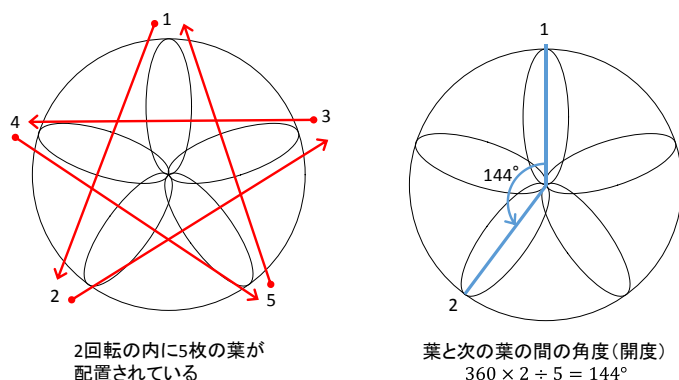


図. 1 $2/5$ で表される葉序のモデル

3 校庭に自生していたキク科植物の葉序

校庭の植物を調査したところ、キク科に属する多くの植物が自生していた。種により、葉の形状が異なることから、キク科内においても葉序に違いが見られると考え、調査した。

(1) 調査方法

校庭に自生しているオオアレチノギク、ヒメムカシヨモギ、ヨモギ、ノゲシの4種を採取した。まず葉序を調べ、その一周周期を切り抜いた。次に隣り合う二枚の葉の開度を調べるために、茎の真上から写真を撮影し開度を調べた。また同時に、葉の縦と横の長さを計測し、その比率を算出した。

(2) 結果

調査と計測の結果を、表. 1 に示した。予想の通り、キク科植物内で葉序に違いが見られた。開度については、多少の差が見られるものの、計算値とよく一致した。

(3) 考察

各植物を真上から観察すると、葉の重なりが少なく、1枚の葉が十分に受けることができる配置がとられていた。また、葉の形状（縦横比）と、葉序に関係があることが読み取れた。細長い形状の葉ほど、一周周期内に配置されている葉の枚数は多かった。葉の枚数が多くとも、葉の重なりはほとんどなかった。このことから、葉の形状と葉序は関係性があることが強く推定される。

表.1 キク科植物の葉序、開度、葉の縦横比

	オオアレチノギク	ヒメムカシヨモギ	ヨモギ	ノゲシ
葉序	5/13	5/13	3/8	2/5
開度 (計算値)	138.5°	138.5°	135.0°	144.0°
開度 (実測値)	138.1°	137.5°	135.5°	142.4°
葉の縦横比	9.9	10.6	1.9	3.6
茎真上から撮った写真				

4 葉モデルの作成と葉序の関係

葉の形状と葉序の関係性を調べるため、葉モデルを作成し、シミュレーションした。

(1) 葉モデルの作成

葉の形状は、楕円形と単純化することとした。縦横比が、1 から 10 までの葉モデルを作成した。作成した葉モデルを、現在知られている6種類の葉序に合わせて配置した60種類の図を作成した(図. 3)。最大受光面積と受光面積の面積比を受光率として算出した。葉同士が重なっている面積を重なり面積として算出した。受光面積に対する重なり面積の比を重複面積として算出した (図. 4)。

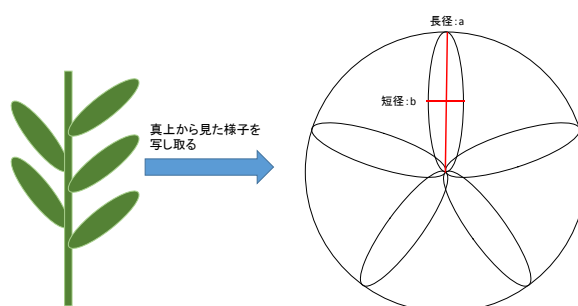


図. 3 葉モデルの作成の概略図



図. 4 計測した面積 (塗りつぶされた部分の面積を求めた)

(2) 結果

図を切りだし、算出した面積から受光率と重複面積比を求めた。

同じ葉序の場合、葉モデルが細くなるほど受光率は低くなった。また、ある比率に着目してみると、一周あたり葉の枚数が増えるほど、受光率は高くなった (表. 2、図. 5)。

重複面積比は、葉モデルが細長くなるほど、一周あたりの葉の枚数が少なくなるほど小さな値となった (表. 3、図. 6)。

表.2 葉モデルから求めた受光率
葉モデルの縦横比

葉序		丸い ← → 細長い									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1/2	50	25	17	12	9	9	7	6	6	6
	1/3	72	38	27	20	16	14	12	9	9	8
	2/5	87	58	40	31	25	22	18	17	14	14
	3/8	95	77	60	47	39	34	29	26	23	20
	5/13	100	90	78	68	58	51	46	39	36	34
	8/21	100	95	90	82	77	70	65	58	50	49

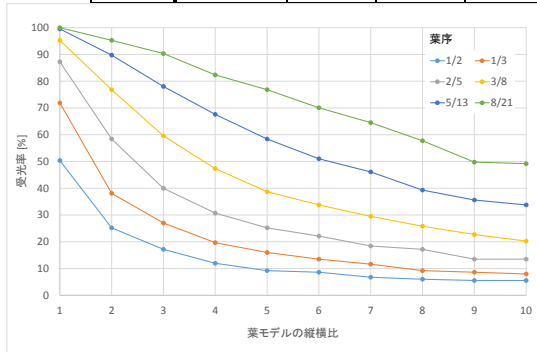


図.5-1 葉モデルから求めた受光率（葉序）

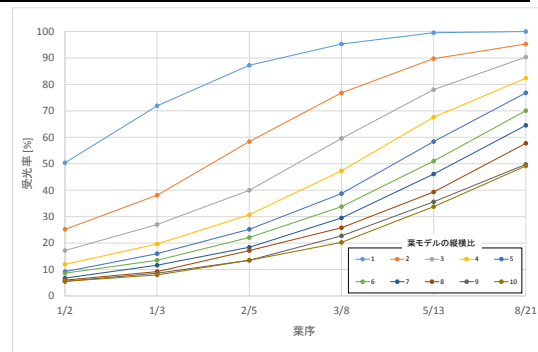


図.5-2 葉モデルから求めた受光率（縦横比）

表.3 葉モデルから求めた重複面積比
葉モデルの縦横比

葉序		丸い ← → 細長い									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1/3	8	3	4	9	4	0	0	0	0	0
	2/5	39	12	3	2	5	0	0	0	0	0
	3/8	73	25	12	7	10	4	4	5	0	0
	5/13	88	55	33	20	18	10	8	3	2	4
	8/21	94	75	56	41	34	25	15	12	9	10

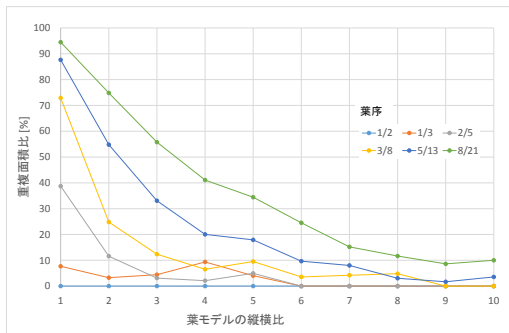


図.6-1 葉モデルから求めた受光率（葉序）

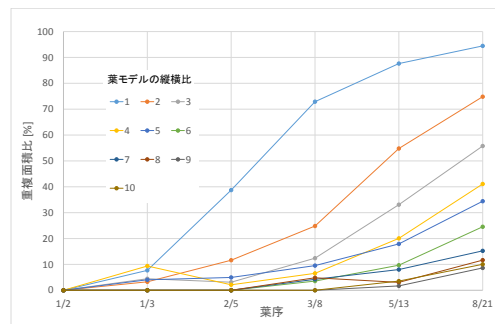


図.6-2 葉モデルから求めた受光率（縦横比）

（3）考察

円状の葉モデル（縦横比：1）の8/21葉序の場合、葉モデルの94%が重なっており効率が悪くなっていると考えられる。

一方、5/13葉序と8/21葉序の重複面積比は、それぞれ5%、10%前後に収束する様子が読み取れた。

このことはすべての葉で、光を受けていることを示している。これらの葉序では、縦横比 9 または 10 が最も効率よく受光していると考えられる。

5 ヒメムカシヨモギと葉モデルの比較

葉モデルによるシミュレーションの結果を踏まえ、校庭に自生していたヒメムカシヨモギを用いて受光率の比較を行った。

(1) 方法

ヒメムカシヨモギの一周期分の葉を切り取り方眼紙に並べ、輪郭を方眼紙に写し切り出した。それを葉序に従い別の方眼紙に同心円状に並べ、輪郭を写し取った。並べた葉のうち、最も長い葉の長さを半径とする円の面積を最大受光面積と考え、受光面積、重複面積などを求めた。

(2) 結果

ヒメムカシヨモギの受光率を示した (表. 4)。受光率は 20~25%、重複面積は 0 cm^2 であった。

表. 4 自生していたヒメムカシヨモギの受光率と重複面積

	葉序	縦横比	受光率[%]	重複面積[cm^2]
ヒメムカシヨモギ 1	5/13	10.6	20	0
ヒメムカシヨモギ 2	5/13	10.6	25	0

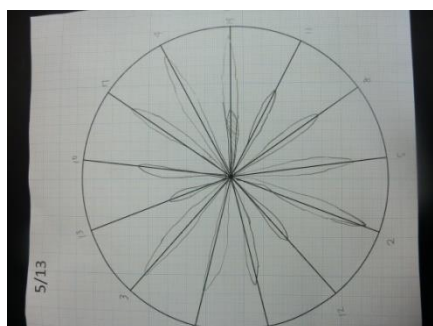


図. 7-1 ヒメムカシヨモギの一周期



図. 7-2 葉の部分の切り出したもの

(3) 考察

採取したヒメムカシヨモギの受光率は、葉モデルにおける受光率 (5/13 葉序、縦横比 1) に対し 10% ほど小さな値であった。これは葉の形状が楕円形ではないこと、葉に大小があることによるものである。しかし、葉は重複していなかった。葉の細部にまで光を受ける工夫をしていることが推測される。

6 葉モデルの改良

実験 5 から葉モデルの受光率の数値と自生していた植物の実測値では 10% の差があったので葉モデルの数値を実測値に近づけるために葉モデルに茎を付けた。

(1) 調査方法

葉モデルに茎のモデルを竹串につけて実験 4 と同じ操作をして受光率と重複面積比を算出した。今回は、茎の長さは 1.5 cm とした。



図. 8 葉の部分の切り出したもの

(2) 結果

このような表を示した(表 5)。葉モデルに茎をつけて算出したところ受光率は 24.5%、重複面積は 0 cm² となり実測値と似たような結果となった。

表.5 自生していたヒメムカシヨモギと葉モデル(茎)の受光率と重複面積

	受光率[%]	重複面積[cm ²]
ヒメムカシヨモギ 1	20	0
ヒメムカシヨモギ 2	25	0
葉モデル(茎)	24.5	0

(3) 考察

今回は 1.5cm で実測値にととても近づく結果になったので今後はほかの葉序や縦横比でも実際に自生している植物の実測値に近づくのかを検証し、また茎の太さや長さを変えるとより正確になると考えた。また葉モデルに茎をつけて算出するとほぼ同じ値になった。

7 結論

キク科に属する植物内において、葉の縦横比により、葉序が異なることを明らかとした。また、葉モデルで葉序と受光率の関係を調べ、細長い葉ほど多くの葉でを受ける様子を示した。また、5/13 葉序と 8/21 葉序については、重複面積比に下限値が存在していることを発見し、これら葉序における最適条件であると考えた。

自生植物との比較では、簡単な葉モデルを考えたため、それらの受光率の間に 10%程度の差が見られた。植物の葉は完全な楕円でないことにその原因がある。

8 今後の展望・他分野への応用

今回は、葉を平面に写し取り、高さ方向の要素を排除し検証を行っている。今後は、高さ方向の要素を考え検証を行っていきたい。

最終的には、葉序と葉の縦横比の関係の最適条件を見つけ、植物の受光戦略について追及していきたい。また、これらの知見は、植物をモデルとしたデザイン性にあふれる太陽光発電装置の開発につながるものと考えている。

9 参考文献

- 1) S. Douady and Y. Couder, Phyllotaxis as a dynamical self organizing process part I : The spiral modes resulting from time-periodic iterations, *J. theor. Biol.* **178**, 255-274 (1996)
- 2) S. Douady and Y. Couder, Phyllotaxis as a dynamical self organizing process part II : The spontaneous formation of a periodicity and the coexistence of spiral and whorled patterns, *J. theor. Biol.* **178**, 275-294 (1996)
- 3) S. Douady and Y. Couder, Phyllotaxis as a dynamical self organizing process part III : The simulation of the transient regimes of ontogeny, *J. theor. Biol.* **178**, 295-312 (1996)
- 4) Okabe, T. Biophysical optimality of the golden angle in phyllotaxis. *Sci. Rep.* **5**, 15358; doi: 10.1038/srep15358 (2015).