

論 説

花粉形態学における数学的解析 II

上野 実朗*

Mathematical analysis of pollen morphology II

Jitsuro UENO*

花粉の発芽装置の数(以下省略してN。N=Number of germ aperture)は植物の分類・系統・進化などを論ずる上からも重要な形質である。それにも拘らずNを特に取り上げた研究は少ない。しかし重要であるから誰かが研究せねばならない。幾瀬マサの「日本植物の花粉」(1956)ではNを調査し明記してある。この著は誠に労作であり、今回の報告にとっては貴重な資料となった。今回幾瀬博士の定年に当り、この点を再考したい。

上野は「花粉形態学における数学的解析(上野式立方体理論)」(1972)でアカザ目ナデシコ科カスミソウ・ムレナデシコ、アカザ目ヒユ科ツルノゲイトウ、サボテン目サボテン科サボテンは正五角形12面

体〔略して(5)×12〕で、各面(略してF, Face)に1個の発芽装置(略してGA, germ aperture)が規則正しく立体的に散在していることを記した。

その論文では丸い花粉を球形と考えて、これを単位球と仮定し、その他の立体的な花粉は単位球に内接する5種類の立方体(polyhedron)ではないかと考え、その何れが球に近くて合理的であるか、各立方体の表面積と体積とを計算した。その結果、一番球に近い立方体は(5)×12の12面体であることが分り、その意味からもムレナデシコなどは理論上からも合理的な形態であることを数学的に解析した。次のその性質を表示する。

Table 1 Surface and volume of polyhedron
表 1 立方体の表面積と体積

	正3角形 4面体 略(3)×4 Tetrahedron	正4角形 6面体 略(4)×6 Hexahedron	正3角形 8面体 略(3)×8 Octahedron	正5角形 12面体 略(5)×12 Dodecahedron	正3角形 20面体 略(3)×20 Icosahedron	単位球 (r=1) Unit sphere
表面積 Surface	6.48	8	6.92	10.51	9.57	12.56 (4πr ²)
体積 Volume	0.43	1.53	1.33	2.78	2.53	4.18 ($\frac{4}{3}\pi r^3$)
順位 Rank	6	4	5	2	3	1

* 国立音楽大学(〒190 東京都立川市柏町5-5-1)

いま各立方体の平面 (F, face)、稜線 (E, edge)、頂点 (V, vertex) および夫々の合計 $F + V$ 、 $E + V$ 、 $F + E$ 、 $F + E + V$ におのおの立体的に 1 個ずつの

発芽装置 (GA. germ aperture) があるとして計算する。全表面に立体的・規則的に散在する発芽装置数 N は次の如くである。

Table 2 Number of germ aperture in polyhedron

表 2 立方体における発芽装置数

	Tetrahedron (3) × 4 4 面体	Hexahedron (4) × 6 6 面体	Octahedron (3) × 8 8 面体	Dodecahedron (5) × 12 12 面体	Icosahedron (3) × 20 20 面体
F 平面 (face)	4	6	8	12	20
E 稜線 (edge)	6	12	12	30	28
V 頂点 (vertex)	4	8	6	20	12
F + E	10	18	20	42	48
F + V	8	14	14	32	38
E + V	10	20	18	50	40
F + E + V	14	26	26	62	60

この Table 2 を配列し直すと次の如くなる。

Table 3 Polyhedron and number of germ aperture

表 3 立方体と発芽装置の数

Number	Tetrahedron (3) × 4 4 面体	Hexahedron (4) × 6 6 面体	Octahedron (3) × 8 8 面体	Dodecahedron (5) × 12 12 面体	Icosahedron (3) × 20 20 面体
4	F, V				
6	E	F	V		
8	F + V	V	F		
10	F + E, E + V				
12		E	E	F	V
14	F + E + V	F + V	F + V		
18		F + E	E + V		
20		E + V	F + E	V	F
26		F + E + V	F + E + V		
28					E
30				E	
32				F + V	
38					F + V
40					E + V
42				F + E	
48					F + E
50				E + V	
60					F + E + V
62				F + E + V	

以上の表から発芽装置を考察しよう。

発芽装置数 $N=4$ の場合。この花粉を立方体として考えると、4面体 $(3) \times 4$ の平面 F が頂点に V に1個ずつ発芽装置 GA があると仮定できる。しかし実際には多くの $N=4$ の4は赤道面に平面的に存在する例が多い。つまり $N=3$ から1個増加した形(例 ツツジ科サラサドウダン属 *Enkianthus* 上野 1950) である。 $N=4$ の配列研究は見逃されているが面白いテーマなので今後も追究されねばならない。

発芽装置数 $N=6$ の例は案外多い。立方体からは4面体稜線 $(3) \times 4E$, 6面体平面 $(4) \times 6F$, 8面体頂点 $(3) \times 8V$ のいずれでも説明がつく。例としてはキク科ダリア *Compositae*, *Dahlia* (上野 1971, 1972)。フサザクラ科フサザクラ *Eupteleaceae*, *Euptelea polyandra* (幾瀬 1956 Pl. 13—6)。メギ科トガクシヨウマ *Berberidaceae*, *Ranzania japonica* (幾瀬 1956 Pl. 15—12)。カタバミ科カタバミ *Oxalidaceae*, *Oxalis corniculata* (幾瀬 1956 Pl. 21—4 longer stamen) (shorter stamen $N=4$ 同 Pl. 21—3 これは面白い材料である)。ブドウ科ヤブカラシ *Vitaceae*, *Cayratia japonica* (幾瀬 1956 Pl. 24—12)。ナデシコ科ノハラツメクサ *Caryophyllaceae*, *Spergula arvensis* (幾瀬 1956 P. 69)。しかし典型的な6面体平面 $(4) \times 6F$ の例としてはツルムラサキ科ツルムラサキ *Basellaceae*, *Bassella rubra* (Erdtman 1952 Fig. 27—A, 上野 1978 Pl. 16—A, B, C.) がある。ツルムラサキの発芽装置を平面展開すると、互に反対方向に斜めにならないでおり、これを特に対溝 (rupis, rupi) とよぶ。幾瀬 (1956 Pl. 51 p. 69) はツルムラサキを6—rugoidate $4D^2$ としているが、上野 (1978) 花粉学用語索引 R13 p.10 では ruga は散溝で、R15 では rugoidate は類散溝型である。散溝とは散在している溝で、ツルムラサキのように、6面体 $(4) \times 6F$ の平面展開図で正確に互に反対方向に斜めにならないのは対溝が正しい。この解釈の差は立方体理論を採用するか否かによるものである。

発芽装置数 $N=10$ は理論的には次の2種の立方体が考えられる。ひとつは4面体平面と稜線 $(3) \times 4F + E$ で、いまひとつは4面体稜線と頂点 $(3) \times 4E + V$ である。どちらも4面体であることは興味がある。例としてはケシ目ケシ科カラクラサケマン *Papaveraceae*, *Fumaria officinalis* で幾瀬 (1956 Pl. 16—1 p.79) が $N < 10$ としている。同じ科のタケニグサ *Macleya cordata* も $N < 10$ とされている (同 p.79)。またタデ目タデ科ママコノシリヌグイ *Persicaria senticosa* は幾瀬 (1956 Pl. 12—7, Pl. 51—60.61 p.67) によると $N = ca 10$ で、図や写真によると前記カラクラサケマンやタケニグサより10に近く、立体的に散在している。 $N=10$ を正確に保有する例はこれからも探してゆきたい。

発芽装置数 $N=12$ は立方体としては4種の例が考えられる。6面体稜線 $(4) \times 6E$ と8面体稜線 $(3) \times 8E$ と12面体平面 $(5) \times 12F$ と20面体頂点 $(3) \times 20V$ である。アカザ目ナデシコ科ムレナデシコ・カスミソウ *Caryophyllaceae*, *Gypsophila elegans* は走査電子顕微鏡 SEM によると正確に12面体で各平面に発芽装置が存在する (上野 1972 Fig. 1, 1978 Pl. 131, 1979 Pl. 3)。しかし幾瀬 (1956 p. 70) は同科のサボンソウ *Soponaria officinallis*, カワラナデシコ *Dianthus superbus* var. *longicalycina*, タカネナデシコ *Dianthus superbus* var. *amoenas*, ヒメナデシコ *Dianthus deltoides*, ウシハコベ *Malachium aquaticum*, ハコベ *Stellaria media* などでは発芽装置数 $N = poly$ (ca. 15) forate $4C^a$ としている。つまり正立方体理論からは存在しない $N=15$ とした。しかしハコベの写真 (幾瀬 1956 Pl. 47—43・44) を見るとムレナデシコ $N=12$ と同型である。したがって幾瀬の $Ca15$ は12に訂正したらよいと考える。ナデシコ科で幾瀬によると ca. 20 とされているのはミヤマハコベ *Stellaria Francheti*, シコタンハコベ *Stellaria ruscifolia*, イワツメクサ *Stellaria nipponica* などで $N=20$ としたら12面体頂点 $(5) \times 12V$ に相当する。その他、 $N=30$ も $N=40$ (正確には42) も $N=$

50も12面体理論で説明がつく。したがって上野はナデシコ科は立方体理論からは12面体ではないかと考える。

発芽装置数 $N=14$ 、 $N=18$ などは現在は不明な属が多い。しかし $N=20$ の例はナデシコ科では上記以外、ホソバツメクサ *Minuartia verna* var. *japonica*, タカネミミナグサ *Cerastium ciliatum*, クモマミミナグサ *Cerastium schizopetalum* var. *bifidum*, オオバナミミナグサ *Cerastium Fischerianum*, オオヤマフスマ *Moehringia lateriflora*などは幾瀬(1956 p.71)によるとすべて $N=ca.20$ である。 $N=20$ は6面体稜線と頂点 $(4) \times 6E + V$, 8面体平面と稜線 $(3) \times 8F + E$, 12面体頂点 $(5) \times 12V$, 20面体平面 $(3) \times 20F$ のいずれかとなる。しかし前記したようにナデシコ科には12面体理論があてはめやすいことを考えて、上野は上記の属は12面体頂点に存在するものと推察する。

ここで目標をナデシコ科にしぼって発芽装置数 N を考えてみよう。 $N=ca.15$ の例としてタカネツメクサ *Minuartia hondoensis*があるが同じ属のホソバツメクサ *Minuartia verna* var. *japonica*は $N=ca.20$ である。この場合 *Minuartia*は12面体で、前者では平面に、後者では頂点に発芽装置 G_A が位置し、この相互関係は8面体稜線 $(3) \times 8E$ 、 $N=12$ と8面体平面と稜線 $(3) \times 8F + E$ 、 $N=20$ で、また20面体頂点 $(3) \times 20V$ 、 $N=12$ と20面体平面 $(3) \times 20F$ 、 $N=20$ で、さらに6面体稜線 $(4) \times 6E$ 、 $N=12$ と6面体稜線と頂点 $(4) \times 6E + V$ 、 $N=20$ でもみられる。つまり $N=12$ と $N=20$ とは4種類の立方体で考えられる発芽装置数 N であり、誠に興味ある組合せが12 & 20である。

さらにナデシコ科では発芽装置数 $N=ca.30$ がある。サワハコベ *Stellaria diversiflora*, ノミノフスマ *Stellaria Alsine* var. *undulata*, フシグロセンノウ *Lychnis Miqueliana*, ナンバンハコベ *Cucubalus boccifer* var. *japonicas*, ノミノツヅリ *Arenaria serpyllifolia*, ヒゲネワチガイソウ *Pseudostellaria Palibinina*, ミミナグサ *Cerastium caespitosum*

var. *ianthes*, オランダミミナグサ *Cerastium Viscosum* などはいずれも $N=ca.30$ の例である。これを立方体理論から考えると12面体稜線 $(5) \times 12E$ は30、12面体平面と頂点 $(5) \times 12F + V$ は32である。幾瀬の表(1956 p.70~71)では正確に計算されていないので30なのか、多いのか、少ないのかわからない。もしも $N=28$ ならば12面体ではなく20面体稜線 $(3) \times 20E=28$ となる。問題は正確に発芽装置数 N を測定することである。

さらにナデシコ科には発芽装置数 $N=ca.40$ と $ca.50$ とがある。 $N=40$ の例としてはムシトリナデシコ *Silene Armeria*, センジュガンビ *Lychnis gracillima*, アメリカセンノウ *Lychnis chalcidonica*がある。12面体平面と稜線 $(5) \times 12F + E=42$ となるので、これらの例は正確に調べれば $N=42$ となるのではなからうか。しかしもしも $N=40$ ならば20面体稜線と頂点 $(3) \times 20E + V$ とも考えられる。ナデシコ科で最多の発芽装置数 $N=ca.50$ はツメクサ *Sagina japonica*である。もしも正確に50ならば12面体稜線と頂点 $(5) \times 12E + V=50$ である。

以上の如く幾瀬(1956 p.70~71)のナデシコ科の発芽装置数を通覧すると12面体理論で説明つく例が多い。しかしここでは発芽装置の数 N のみを論じたが、同時に位置 $P=position$ も立方体理論で説明した。残る問題は形質 $C=character$ or $form$ である。孔なのか溝なのか、複合孔なのか単孔なども調べねばならない。さらに直径や染色体数との関係も重要な条件である。分類系統の上からは上野(1978 Fig. 1&2)の如くナデシコ目はキンポウゲ目から出た目と考えられ、ナデシコ目からは合弁花イソマツ目と離弁花タデ目が出る。また花粉の核性は2核性 binucleate と2、3核性 bi and trinucleate と3核性 trinucleate が見られ、花粉核性変化の移行分岐点となっている。そしてイソマツ目もタデ目も3核性花粉を有し、進んだ形質を示している。この分岐点に位置し、核性の移行が見られるナデシコ科で発芽装置数の種々の変異が規則的に出現するのは興味がある。しかしこの発芽装置数 N に特に注目し

た研究がほとんど無いのは残念である。しかも発芽装置のN（数）・P（位置）・C（形質）はラセン状・1孔・2孔・3孔・尾状花序群（例 クルミ 上野 1967）などと色々と変化し、多くの問題を提起している。花粉形態学における数学的解析の分野で

ある。この論文を記すにあたり、20年も昔に幾瀬博士が「日本植物の花粉」（1956）で発芽装置数を調査記録された功は誠に偉大で、今回はその著作を利用できたことを感謝する次第である。この論文を謹んで幾瀬博士の定年を記念して博士に捧げる。

References

- 会沢正義 1971 花粉の発芽と花粉管の伸長V 日本花粉学会会誌, 8 : 13-18
- Erdtman, G. 1952 Pollen morphology and plant taxonomy : Angiosperms. Uppsala
- 幾瀬マサ 1956 日本植物の花粉, 広川書店
- 上野実朗 1950 ドウダンツツジ属について, 大阪市立大学理工学部紀要1 : 55-62 (英文)
- 上野実朗 1967 オニグルミの花粉について 植物分類地理, 22 : 175-182
- 上野実朗 1970—1971 花粉学とその実験法, 科学の実験, 21-6 : 69-75, 21-9 : 60-71, 21-10 : 1-10, 21-11 : 87-97, 21-13 : 69-73, 22-1 : 82-86, 22-2 : 89-92
- 上野実朗 1971 花粉表面の微細構造II グリア, 静岡大学理学部報告6 : 149-164 (英文)
- 上野実朗 1972 花粉形態学における数学的解析 (上野式立方体理論), 日本花粉学会会誌9 : 19-21
- 上野実朗 1973 被子植物系統樹の花粉学的考察, 日本花粉学会会誌12 : 1-12
- 上野実朗 1978 花粉学研究, 風間書房
- 上野実朗 1979 花粉百話, 風間書房

Summary

Among regular polyhedron (solid), it is the dodecahedron that is most like as unit sphere. The example of dodecahedron is some of pollen grains in Dicotyledoneae, Archichlamydeae (Choripetalae), Centrospermae (Chenopodiales), Caryophyllaceae : *Arenaria*, *Cerastium*, *Cucubalus*, *Dianthus*, *Gypsophila*, *Lychnis*, *Malachium*, *Minuartia*, *Moehringia*, *Pseudostellaria*, *Sagina*, *Silene*, *Stellaria* etc.

Dodecahedron and number of germ aperture in Caryophyllaceae

N	Genus	Dodecahedron
12	<i>Dianthus</i> , <i>Gypsophila</i> , <i>Malachium</i> , <i>Saponaria</i> , <i>Stellaria</i> ¹	Face (F)
20	<i>Cerastium</i> , ² <i>Minuartia</i> , <i>Moehringia</i> , <i>Stellaria</i> ³	Vertex (V)
30	<i>Arenaria</i> , <i>Carastium</i> , ⁴ <i>Cucubalus</i> , <i>Lychnis</i> , <i>Pseudostellaria</i> , <i>Stellaria</i> ⁵	Edge (E)
42	<i>Lychnis</i> , <i>Silene</i>	F + E
50	<i>Sagina</i>	E + V

- 1 *Stellaria media* (N=12)
- 2 *Cerastium ciliatum*, *Cerastium schizopetalum* var. *bifidum*, *Cerastium Fischerianum* (N=20)
- 3 *Stellaria Francheti*, *Stellaria ruscifolia*, *Stellaria nipponica* (N=20)
- 4 *Cerastium caespitosum*, *Cerastium viscosum* (N=30)
- 5 *Stellaria diversiflora*, *Stellaria Alsine* var. *undulata* (N=30)

☆ 大会プログラムの早期予告について

第20回大会会場で三木寿子会員から大会プログラムを早く印刷して配布してほしいとの要望があった。誠に当然なことである。しかし実際には仲々難しい。期日までに講演申込が揃わないからである。切角つくった順番も申込が遅れて到着すると、また全体を改訂せねばならない。第20回大会でも大会直前にアメリカから帰国した塚田松雄君から講演申込があり、守屋幹事らは急いでペンでプログラム予稿集に追記した。しかし結局彼は現われずであった。また特別講演の決定にも時間がかかり、演者や座長との連絡も慎重でなければならない。会場をいくつにして、どう講演を分けるかなど困難な問題も多い。第20回大会では守屋委員長が大いに奮闘して、東京での大会では最初の立派な予稿集を作ることが出来たのは大いに感謝している。第21回大会を成功させる為に京都の市河幹事に協力し、本会会報に報じてある期日に間に合せてスムーズに運営し、少しでも三木会員らの希望に副いたいと念願している。

その為には早目に講演題目を知らせてほしい。5月末までに学会事務局（静岡・上野）に演者とテーマだけ通知してもらえれば会誌第25号（5月末〆切・8月頃配本）にプログラムの予告が可能である。しかし例年これは極めて困難である。私も経験があるが、テーマは実験結果と関連があり、8月の夏休みにデータを出して、9月になってデータを検討して内容が確定する例が多い。しかしこれではプログラム〆切が9月になり、会誌25号（5月末〆切）には間に合わない。そこでテーマだけ早く通知し、内容は予稿集に出せるように準備してほしい。予稿集の〆切・編集は大会事務局（京都・市河）の都合によるが大体秋になると思われる。よりよい大会をスムーズに持つために会員・会友諸氏の協力を是非お願いする。会誌25号にプログラムが出せるように祈っている。

（上野）

京都の連絡先：〒606 京都市左京区岩倉大鷲町 83 市河三次

電話 075-701-8672