

原 著

花粉形態学における数学的解析 V

花粉学的 14 面体（カスミソウ）と数学的 14 面体

上 野 実 朗*

Mathematical analysis of pollen morphology V

Palynological tetrakaidecahedron (*Gypsophila*) and mathematical tetrakaidecahedron

Jitsuro UENO

(受付：1983 年 10 月 31 日)

V - 1 序 論

ナデシコ科のカスミソウ *Gypsophila elegans* Bieb. やカワラナデシコ *Dianthus japonica* Thuvb. の花粉は 5 角形 12 面体になることが多い (1972, 1979)。その美しい均整のとれた形は吸水時にはみられず、乾燥するときだけ出現する。まさに「黄金の 12 面体」Golden dodecahedron である。発芽孔は各面に 1 個づつあるが、孔はその形や数が変わることがある。12 面体花粉では赤道をはさみ、遠心半球、求心半球にそれぞれ 6 面ずつある。しかし場合によるとそれぞれ 7 面ずつあると思われる花粉がある。この場合は 14 面体花粉と考えられる。次にその例について記し、あわせて考察をこころみたい。

ここで多面体花粉を説明するために花粉式 Palyno formula (略して Pf) を提案したい。

遠心極 ana polar (地球では南極) を P-ana、赤道

遠心側 ana equator (地球では南半球) を E-ana、赤道求心側 cata equator (地球では北半球) を E-cata、求心極 cata palar (地球では北極) を P-cata とし、 $(n) \times x$ に多角形 (n) とその面数 (x) を入れる。これを結晶学の数式 Crystal formula (略して Cf) におきかえると極面は (0 0 0 1)、側面は (1 0 1 0)、赤道線上的面は (1 0 1 1) となる。

カスミソウの 14 面体花粉式 [Pf] は P-ana [(6) × 1] + E-ana [(?) × 6] + E-cata [(?) × 6] + P-cata [(6) × 1] = 14 面体 Tetrakaideca hedron となり、結晶学数式 [Cf] は $(0\ 0\ 0\ 1) \times 1 + (1\ 0\ \overline{1}\ 0) \times 12 + (0\ 0\ 0\ 1) \times 1 = 1 = \text{Tetrakaidecahedron}$ となる。[Pf] の (多角形) を [Cf] に入れると、 $\{(0\ 0\ 0\ 1) \times 1 = (6) \times 1\} + \{(1\ 0\ \overline{1}\ 0) \times 12 = (?) \times 12\} + \{(0\ 0\ 0\ 1) \times 1 = (6) \times 1\} = (6) \times 2 + (?) \times 12$ となる。この報告では側面の (?) × 12 が問題となる。 (?) は変形 5 角形 (第 1 図-P) に近いものと思

* 〒 420 静岡市瀬名 189 静岡大学名誉教授 常葉学園大学教授

* Professor Emeritus of Shizuoka University Sena 189, Shizuoka-shi, 420 Japan.

われる。

この報告にある花粉の走査電子顕微鏡写真は静岡大学教養部生物学教室で撮影したものであり、とくに玉置繁一・文部教官の協力を深謝する。

V-2 各 論

(材料) ナデシコ科カスミソウ (ハナイトナデシコ・ムレナデシコ)

Caryophyllaceae Gypsophila elegans
Bied. カワラナデシコ (セキチク) *Dianthus japonica* Thunb.

V-2-(1) カスミソウ 14 面体花粉 (Plate 1-A, B)

A が極観像である。赤道にそって 6 孔みられる。B の矢印を拡大したのが A である。B には矢印以外の 14 面体花粉として a が 2 個ある。ともに極観である。

V-2-(2) カワラナデシコ 14 面体花粉 (Plate 1-C, D)

D の a は極観をややなめにみている。その極観像をみせているのは Plate 2-C, D である。各写真の右上の図は極の位置を大体示している。

14 面体花粉の赤道観は Plate 2-A に示している。極と赤道の方向を示すため付図を貼った。6 角柱の図は雪の結晶で (0 0 0 1) は極の番号で、(1 0 1 0) は側面 (花粉なら赤道面) の番号である。赤道と求心極・遠心極のマークは上野 (1972) の写真、図と同じ符号である。Plate 2-B は 12 面体花粉の赤道観である。発芽孔が上下で互にずれているが、Fig. 1 B によってもその理由は理解される。

Plate 1-C は 14 面体と考えられる赤道観である。赤道は上下方向で符号で示してみた。

この 14 面体花粉は 12 面体花粉の変形かも知れない。事実、12 面体花粉と 14 面体花粉は混存する。この「事実」は恩師、桑田義備先生の言をかりれば、私にとって「磨かれざるダイヤモンド」である。

V-3 討 論

以下、自然界にみられる各種の 14 面体について考察しよう。

V-3-(1) 花粉学的資料

V-3-(1)-A ナデシコ科 *Caryophyllaceae* 幾瀬マサ (1956. p. 70, 71) ではナデシコ科のサボンソウ *Saponaria affianalis*, カワラナデシコ *Dianthus superbus* var. *longicalyx* ana, タカネナデシコ *D. superbus* var. *speciosus*, クモイナデシコ *D. superbus* var. *amoenus*, ヒメナデシコ *D. deltoides*, ウシハコベ *Malacium aquaticum*, ハコベ *Stellaria media*, タカネツメクサ *Miruartia hondoensis* はすべて poly (ca. 15) forate 4 C^aである。つまり約 15 孔粒である。(上野 1972, 1979)

Erdtman (1952, p. 102) はナデシコ科 *Thylacospermum rupifragum* [Siberia (Alataus); Brotherus 714] : about 12-forate, 26 μ . おそらく 12 面体であろうが、上野が調べれば 14 面体もあるものと思われる。

黄増泉 (1972, p. 76 pl. 34 : 7-10) は、玉山石竹 *Dianthus pygmaeus* Hay は 5-14 孔粒。瞿麥 *D. superbus* L. は 4-13 孔粒とある。やはり孔数に変化がある。

V-3-(1)-B ヒュ科 *Amaranthaceae*

黄 (1972 p. 53, plate 8-14) によるとツルノゲイトウの仲間 *Alternanthera philoxeroides* Griseb の写真は 14 面体にみえる。また Erdtman (1952 p. 42, Fig. 11) では *Alternanthera gracilis* は 12 面体である。大阪付近にある帰化植物ツルノゲイトウ *Alternanthera sessilis* R. Br. が 12 面体か 14 面体かを確認したいものである。おそらく 12 面体と 14 面体とが混在しているものと考える。

このほかの花粉にも多くの例が発見されるものと思われる。

V-3-(2) 三次元的考察

次にいくつかの 14 面体に関する三次元的な考察をこころみよう。

V-3-(2)-A 14 面体の構造

Wodehouse(1935 p.199, Table VII)は花粉の多面体理論をこころみた一人である。彼は 14 面体では溝 Furrows または稜 Edges は 36 あるとし、14 面体を構成するのは 4 角形、5 角形、6 角形の 3 種の多角形であるとした。そして次の 7 種の 14 面体が可能であると考えた。

	4 角形	5 角形	6 角形
(a)	0	12	2
(b)	1	10	3
(c)	2	8	4
(d)	3	6	5
(e)	4	4	6
(f)	5	2	7
(g)	6	0	8

そして変形 14 面体 orthic tetrakaidecahedron について次の如くのべている。

Orthic tetrakaidecahedron is supposed to be the only polyhedron that can partition space.

これは後述するケルビン (Fig. 1-D, E) やレーピス達も証明しているように、極めて合理的な形である。しかし(a)-(g)までの 7 種以外の 14 面体は不可能なのであるか。6 角形またはこれに近い形だけで成立する 14 面体はないのだろうか (図 1-B etc.)。

上野は第 24 回日本花粉学会大会 (1983 年 10 月 2 日) でカスミソウ花粉は 6 角形、14 面体ではないかと説明した。出席していた宮崎興二・神戸大学教養部助教授は私の走査電子顕微鏡写真をみて、4 角形 6 面と 6 角形 8 面からなる 14 面体だろうと判断した。その例は宮崎 (1983 p. 91 Fig. 57 の 3 段目中央の図) にあり、前述の Wodehouse の(g)である。私の花粉式で記すと、

P - ana[(6) × 1] + E - ana[(4) × 3 + (6) × 2] + E - cata[(4) × 3 + (6) × 2] + P - cata[(6) × 1] となる。私

は粘土で 14 面花粉をつくって検討したが、模型では色々な形が考えられる。また花粉は単なる多面体ではなく、生命体であることを忘れてはならない。

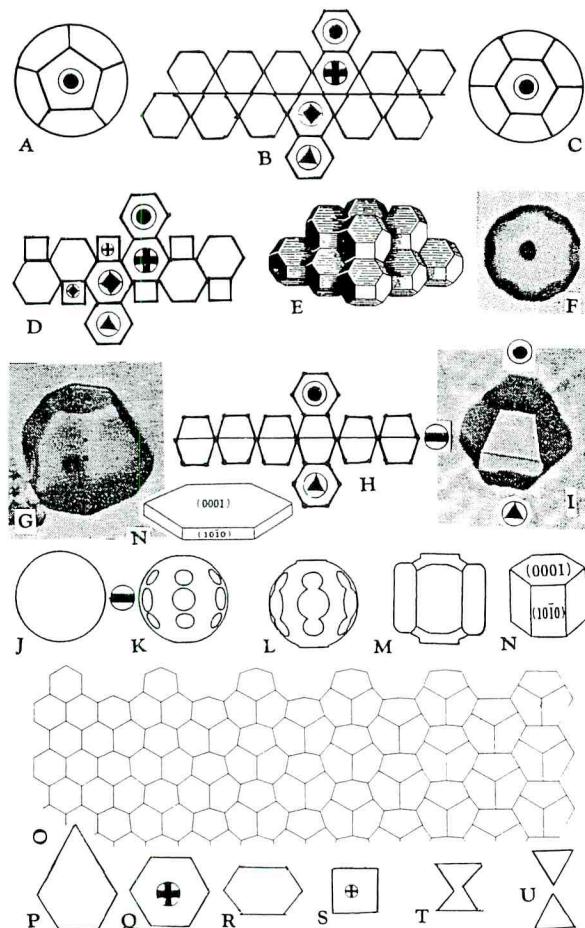
V-3-(2)-B 氷晶 14 面体

自然界で 14 面体が出現する例として、大竹(1970)によるとアラスカの氷霧中でみつかった氷の 14 面体結晶がある (Fig. 1-G)。花粉でいうと遠心極面に相当する結晶面 (0 0 0 1) が 6 角形(A)である。花粉でいうと赤道に接する遠心面半球と求心面半球にはそれぞれ 6 面ずつある。結晶面 (1 0 1 1) が 12 面(B)となる。この面は写真でみると梯形 4 辺形である。整理すると 6 角形が 2 面と梯形 4 辺形が 12 面からなる 14 面体である。この形は前記 Wodehouse の(a)型つまり 5 角形 12 面と 6 角形 2 面とは別のものである。梯形 4 辺形は立体的に 5 角形の代用ができるのか。

また人工種播によると氷の 20 面体結晶ができる。この場合は (0 0 0 1) が 2 面(A) (1 0 1 0) が 6 面(B) (1 0 1 1) が 12 面(C)となる。(1 0 1 0) は花粉でいうと赤道にあたる (Fig. 1-I)。

山下 (1974) は凍結水滴に出現する結晶を調べているが、その中に次の事実を指摘している。凍結水滴が単結晶の場合、水滴は最初は球形に凍る。結晶学的には高指数面に囲まれた形と考えられる。やがて高指数面はきえ、(0 0 0 1) が上下に 2 面(A)、(1 0 1 0) が側面に 6 面(B)、さらに (1 0 1 1) のピラミッド面が 12 面(C)発達してくる (Fig. 1-J, K, L, M)。初期水晶にはこの 20 面体結晶、あるいは(B) 6 面をかいた 14 面体結晶が観察される。

スペースシャトル・チャレンジャー内の無重力状態における「宇宙の初雪」(1983 年 4 月 4 日) では「六方晶系(六方対晶の結晶)である氷の単結晶で多面体」が見られた。これを擬似球形ともよぶ。ただし 14 面体ではない。また雪の結晶が六花といわれる。それが平面でなく立体になると 6 角柱となる。これを球に近く変形させたものが前記の 14 面体である。この 6 角形は数学的には Koch 曲線で説明される。6 花を 2 枚上下に合わせて立体をつくると 14 面体となる。Fig. 1-G はまさにこれである。



第1図 説明

A : カスミソウ 12面体花粉の極観像（遠心極） B : カスミソウ 14面体花粉の展開図（赤道方向） C : カスミソウ 14面体花粉の極観像（遠心極） D : ケルビンの 14面体の展開図 E : ケルビンの 14面体（トムソン 1973） F : 凍結水滴に現われた結晶面（山下 1974）は C に似ている。 G : ア拉斯カの水霧中でみつかった 14面体結晶（大竹 1970） H : G の展開図（赤道方向） I : 人工種播きによる氷の 20面体結晶（大竹 1970） J-M : 凍結した水滴に氷の結晶面が現わってくる過程（山下 1974） N : 雪の結晶の基本形。面の指示番号 O : ハチのめまい（メスニック 1964） 6角形から 5角形へ P-U : 6角形の変化。R は凸形 6角形。T は凹形 6角形。S は R と T の中間形。P は 6角形の 1辺がとがり 5角形になったもの。B の赤道部では互いに P になっている。極・赤道などのマークは上野（1978）を参照のこと。

Explanation of Figure 1

A : Dodecahedron of *Gypsophila* (Caryophyllaceae) B : Tetrahexahedron, 14 hexagon of *Gypsophila*. Equatorial view. C : Tetrakaidecahedron, 7 hexagon of *Gypsophila* Polar view. D : Tetrakaidecahedron of Kelvin. Equatorial view. E : Meeting of Kelvin's tetrakaidecahedron (Thompson 1973). F : Polar view of tetrakaidecahedron of ice crystal (Yamashita 1974). G : Tetrahedron crystal in ice fog of Alaska (Ohtaka 1970). H : Development of Tetrakaidecahedron, 2 hexagon and 12 trapezoid in ice fog of Alaska. I : Icosahedron crystal in ice fog of Alaska (Ohtake 1970) 2 hexagon, 12 trapezoid and 6 rectangle. N : Number of crystal surface. J-M : Crystal growth on ice surface (Yamashita 1974) O : Dizziness of bee (Richard Mesnik 1964). P-U : Deformation of hexagon.

POLLEN-GRAIN CHARACTERS

TABLE IV THEORETICALLY POSSIBLE FURROW CONFIGURATIONS

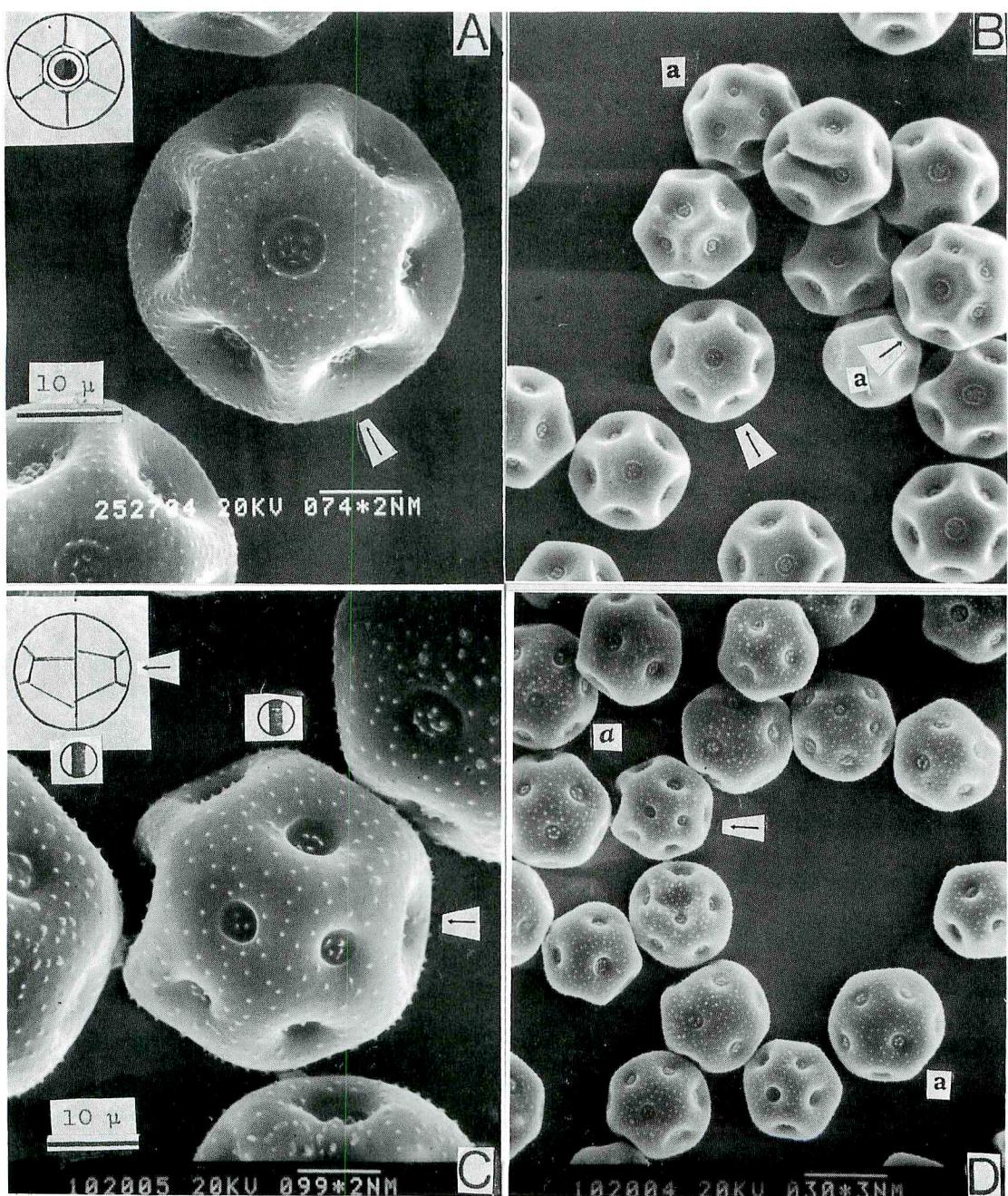
(Wodehouse 1935 p. 199)

Faces	Furrows or edges	Polyhedron or numerical class of polyhedrons	Description of polyhedrons			
			4 triangles	0 tetragons	0 pentagons	0 hexagons
0	0	None	None, corresponds to acolpate grains			
3 †	3	None	None, corresponds to three lunes in 3-colpate grains			
4	6	Tetrahedron*	4 triangles	0 tetragons	0 pentagons	0 hexagons
5	9	Pentahedron or trian- gular prism	2	3	0	0
6	12	Hexahedron, (cube)*	0 2	6 2	0 2	0 0
7	15	Heptahedron or pen- tagonal prism	0 1 2	5 3 2	2 3 2	0 0 1
8	18	Octahedron	0 5 6	4 2 0	4 2 0	0 1 2
9	21	Nonahedron		3 4 5 6	6 4 2 0	0 1 2 3
10	24	Decahedron		2 3 4 5 6	8 6 4 2 0	0 1 2 3 4
11	27	Endecahedron		1 2 3 4 5 6	10 8 6 4 2 0	0 1 2 3 4 5
12	30	Dodecahedron (pentagonal dodecahedron)*		0 1 2 3 4 5 6	12 10 8 6 4 2 0	0 1 2 3 4 5 6
13	33	Triskaidecahedron		0 1 2 3 4 5 6	12 10 8 6 4 2 0	1 2 3 4 5 6 7
14	36	Tetrakaidecahedron		0 1 2 3 4 5 6	12 10 8 6 4 2 0	2 3 4 5 6 7 8
		Orthie tetrakaideca- hedron‡				
15	39	Pentakaidecahedron		0 1 2 3 4 5 6	12 10 8 6 4 2 0	3 4 5 6 7 8 9

* Regular polyhedron.

† Appears to belong to the series, though it has no corresponding polyhedron.

‡ Orthie tetrakaidecahedron is supposed to be the only polyhedron that can partition space.

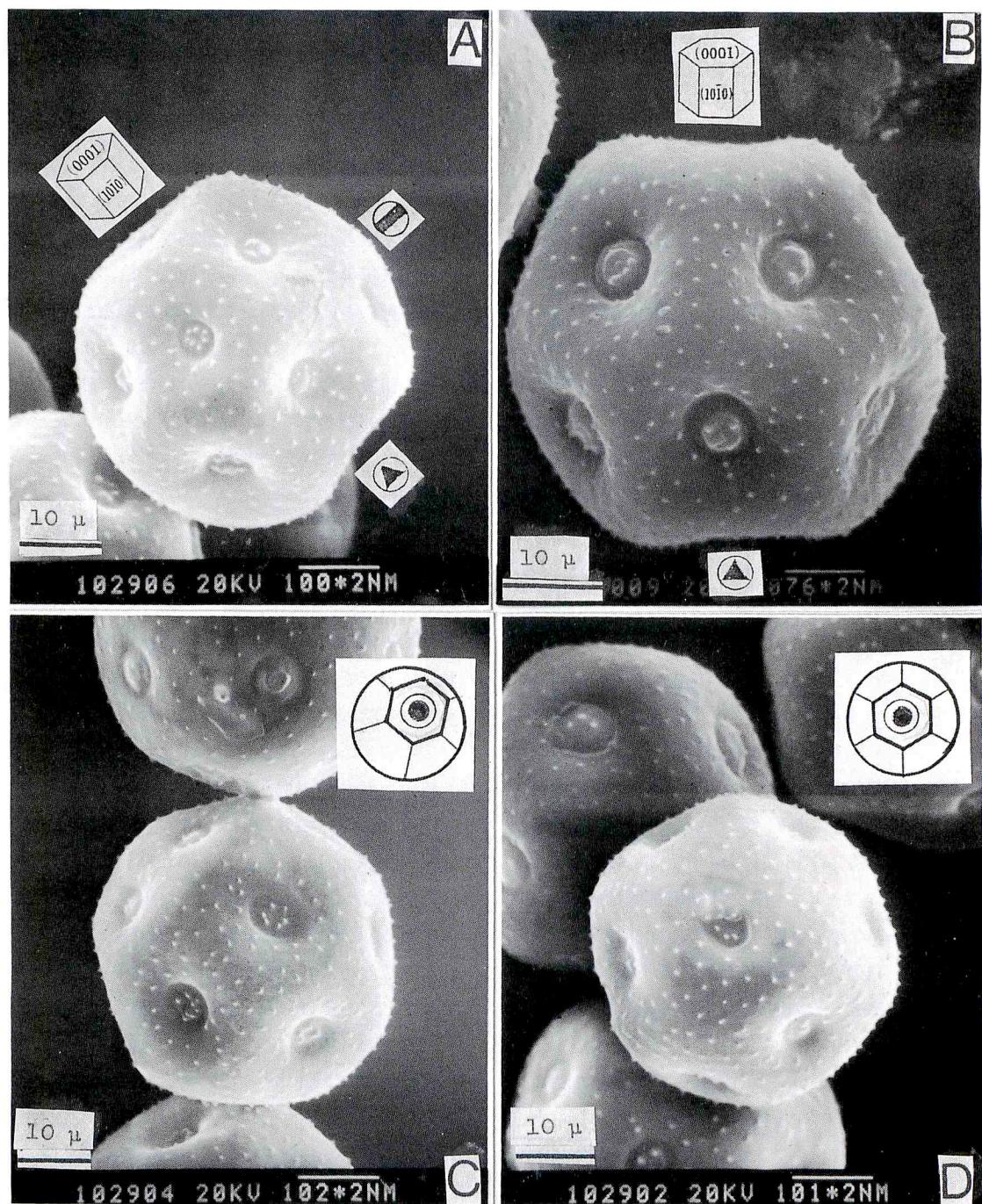


第1図版 14面体花粉

A : カスミソウ 14面体花粉の極観像。B : カスミソウ花粉 矢印はA、aは14面体花粉(2個)。C : カワラナデシコ 14面体花粉の赤道観像。D : カワラナデシコ花粉 矢印はC、aは14面体花粉

Plate 1 Pollen grains of tetrakaidecahedron

A : Polar view of *Gypsophila elegans* Bied. B : *Gypsophila*, arrow and a are tetrakaidecahedron. C : Equatorial view of *Dianthus japonica* Thun. D : *Dianthus*, arrow and a are tetrakaidecahedron.



第2図版 カワラナデシコ花粉

A : カワラナデシコ 14面体花粉の赤道観 B : カワラナデシコ 12面体花粉の赤道観 C・D : カワラナデシコ 14面体花粉の極観

Plate 2 Pollen of *Dianthus japonica* Thunb.

A : Equatorial view of tetrakaidecahedron. B : Equatorial view of dodecahedron C & D : Polar view of tetrakaidecahedron.

氷晶の中に発見の 12 面体、14 面体、16 面体、18 面体など花粉と共に多面体が発見された面白い。

V-3-(2)-C ケルビンの 14 面体 (Fig. 1-D, E)

イギリスの物理学者 Lord Kelvin によると 14 面体の集合により空間を満たすことができる。そのときの界面積は、斜方 12 面体によって空間を満たしたときよりも小さい。この 14 面体は一般に、3 対の合同な 4 角形の面と 4 対の合同な 6 角形の面とでかこまれている。これが集合するときは、それらの面は必ずしも平面である必要はない。最も簡単な場合は、面がすべて平面で、正方形と正 6 角形とからなり、これをケルビンの 14 面体とよぶ。ケルビンは気づかなかつたが、この 14 面体は 13 種の等角の準正多面体、すなわち「アルキメデス多面体」の一つである。彼の図と Wodehouse の(g)とは同じだが 14 面体花粉とは少しことなる。

V-3-(2)-D 植物の柔組織細胞は約 14 面体

トムソン (1973) によると、植物柔組織の研究をしたレーピスは、100 個の細胞について、一つの細胞を囲む細胞の数、すなわち細胞の面の数を調べた。そほの結果、全体の 74 % が 12, 13, 14, 15, 16 面体であり、13, 14, 15 面体のみにしほると 56 % である。そして結論として植物の柔組織細胞は平均 13.96 面体になることを発見した。約 14 面体である。このほかにも 14 面体の例があるかも知れない。

V-3-(2)-E その他の 14 面体

トムソン (1973) によると、粘土の玉の集まりを押しつぶすと、一つ一つの玉はキチンとしたザクロの粒の形、つまり斜方 12 面体になる。しかし粘土の玉をぬらして滑りやすくすると、斜方 12 面体にならず、すこしゆがむことはあるが 14 面体になる。石ケンの泡では個々の泡が自由にうごく。泡の大きさが大体そろっている液体膜の集まりでは、完全な 14 面体が出現する。

マービンは鉛の散弾を鉄の円筒にいれていいろいろな圧力で押しつけた。散弾が最密充填であった時、

1 cm²あたりの 0 ~ 1,600 kg(1,000 ~ 35,000 ポンド) では散弾は規則的な斜方 12 面体になった。しかし散弾を円筒内に乱雑につめた時には、各粒子（弾）の面の数の平均値が加えた圧力により変わった。1,000 ポンドでは約 5 面、10,000 ポンドでは約 12.9 面、35,000 ポンドでは 14.16 面以上であった。この実験は、ある限られた空間内の乱雑な充填状態についての知識は提供するが、生物学的とくに薬内における花粉形態については果たして意味があるかは不明である。上野 (1973) は多集粒花粉の集合状態と関連させて研究をしたが、粘土球の集合時における変形は面白い問題である。

V-3-(3) 二次元的考察

V-3-(3)-A 6 角形

6 角形は自然界ではよく見られる图形である。ミツバチの巣、トンボの翅膀、キリンの模様、カメの甲羅、雪の結晶。氷河の堆石がならんで 6 角形の列をつくる例。さらにミツバチやアリの複眼も巣と同じ構造である。正多角形のタイル板で平面をしきつめられる話。さらにこれを応用したエッシャーの「遊びの宇宙」の作品がある。

乾いたドロの表面がヒビ割れをする時の Y 字型 (Mud cracks and Trischisto clasic system, Wodehouse p. 186, Fig. 39) はそのままつづけると 6 角形になる。Y 字型は安定した角度と形をもつものである。だから花粉細胞が同時分裂して 4 個の花粉が生じる時に、その求心面（背面）に Y 字模様ができることがある（上野・花粉百話 第 37・38・39 話）。

トムソン (1973) によると、一匹のハチをロウ板に逆ピラミッド形の凹みを入れる。ハチは凹みを半球形にし、次に円筒形にし、最後に 6 角柱にしたという。ハチは 6 角形をつくる本能があるらしい。

V-3-(3)-B 6 角形から 5 角形への変化

6 角形と 5 角形とは全く別の形なのか。移行してゆく中間形はないのか。ダグラス・ホフスタッターのメタマジック・ゲームをみると、一次元的に変化するモザイク模様の例として「ハチのめまい」の図がある (Fig. 1-0)。これはカーネギーメロン大学

のメスニク Richard Mesnik (1964) の作である。6 角形と 5 角形とが少しづつ変化してゆく (Fig. 1-0)。

花粉表面の 6 角形や 5 角形も変化してゆくとすれば、この「ハチのめまい」から教えられるものは多い。だから 5 角形 12 面体になったり 6 角形と 4 角形の 14 面体になるのであるまい。

カスミソウ 14 面体花粉で赤道上下にある 6 角形はたがいにジグザグにずれて配列している (Fig. 1-B)。この赤道部の 6 角形は変形するらしい。ケルヴィンの 14 面体 (Fig-D) のように 6 角形 6 個と 4 角形 6 個になったり、その 4 角形になるとき Fig. 1 の G → R → S のように変わることが考えられる。この場合、Fig. 1-P は 5 角形であるが、6 角形が変化したと理解できる。Fig. 1-T は凹型 6 角形で、凹部がさらに大きくなると Fig. 1-凹のように 3 角形 2 個となる。6 角形 Fig. 1-Q が、平らになり Fig. 1-R のようになる。これも凸型 6 角形 convex hexagon である。この凸出が無限に小さくなれば Fig. 1-S のような 4 角形となる。さらに凹入がすすめば Fig. 1-T のような凹型 6 角形 concave hexagon となる。カスミソウ花粉ではこれらの変化がみられると考えられる。

その 5 角形と 6 角形との変形は Fig. 1-P, Q である。この謎のカギは「ハチのめまい」に示されていると思われる。

V-3-(4) 「乱れ (Chaos カオス)」と「秩序」花粉の形や発芽孔の数が変化し、混乱してくる。その中に何かルールともいるべき形質が存在するのか。「乱れ」の規則ともいべき「秩序」があるとすれば、それはどんなものなのか。科学の境界から脱出した非科学的なものか。量子力学者「シュレジンガー Schrödinger」の「猫」*なのだろうか。

1983 (昭和 58) 年 9 月、京都で「乱流とカオス現象の国際シンポジウム」が開かれた。物理学者や数学学者ら 200 人余りが集って、一見規則性のない世界から規則を見いだす試みが多く紹介された。同時に自然界の複雑さ、奥行きの深さも改めてわかつてきた。科学の目は「迷路」に挑もうとしている。

1983 (昭和 58) 年 10 月 29 日、静岡大学教養部で

上記の国際シンポジウムに参加した北原和夫・物理学助教授 (Sci. D.) の講演があった。彼の話は植物の葉脈にもふれた。そして有名なフィボナッティー Fibonacci の級数、一名シンパープラウン Schimper -Braun の級数にもおよんだ。一見、無秩序にみられる葉のつき方 (葉序 Phyllotaxis) は最大値に達した時、一番葉が茂った時でも、各葉面にうける太陽光を有効に利用する方法である。葉序は私の恩師、郡場博士が世界的権威であった。

北原博士は私の示したカスミソウの 14 面体花粉と水の 14 面体結晶について興味を示したが、彼の唱える「乱れ」の中から「秩序」を見出す方式、 $M_{n+1} = f(M_n)$ にどう適応させたらよいかは教えられなかった。彼にとっても私にとっても、また花粉形態学者にとっても楽しい宿題である。

V-3-(5) ダーウィン的衝動仮説

ダーウィンの進化論では「変わるべくして変わる」というが、その根拠となる仮説のひとつが、衝動的仮説である。つまり生命の誕生以来、つねに対面している衝動がある。

この仮説こそ花粉として、生命保存に必要な水分調節いいかえれば耐乾性をもちつづけることである。花粉が常に対面している衝動、刺激、ショックは乾燥である。これをいかに防ぐかは最大の問題である。そのため水分の出口、とりわけ発芽孔の管理が重要となる。それと同時にメシベ柱頭上での花粉管発芽と伸長とが関連してくる。発芽孔の数は夫々の種に応じてきめられる必要がでてくる。

V - 4 結 論

ナデシコ科カスミソウの14面体花粉について述べた。この「事実」は私にとって「磨かれざるダイヤモンド」である。ほかの多面体花粉とともにさらに研究してゆきたい。これまでの花粉形態学における数学的解析をまとめて1984年8月、カナダ・カルガリーにおける第6回国際花粉学会議で発表して、批

判をうけたいと思う。ここで私はフランスの彫刻家ロダンの言葉を思い出す。それは「自然は、すべての型をふくみ無限に変化する。自然は我等の周囲にあるのに、我等はそれを見ていよい。」自然を花粉におきかえてみても真理である。

Summary

- (1) We have many examples of tetrakaidecahedron.
- (2) In Caryophyllaceae, *Gypsophila* and *Dianthus* are generally dodecahedron, but occasionally tetrakaidecahedron.
- (3) Biological example of tetrakaidecahedron : Pollen grains and cell of parenchyma (13, 96 hedron) etc.
Tetrakaidecahedron type pollen

Caryophyllaceae : *Saponaria officinalis*, *Dianthus superbus* var. *longicalycina*, *Dianthus superbus* var. *speciosus*, *Dianthus superbus* var. *amoenus*, *Dianthus deltoides*, *Malacium aquaticum*, *Stellaria media*, *Minuartia hondoensis*, (After M. Ikuse 1956)

Thylacospermum rupifragum (After G. Erdtman 1952)

Dianthus pygmaeus (After Tseng-Chieng Huang 1972)

Amaranthaceae : *Alternanthera philoxeroides* (After Tseng-Chieng Huang 1972)

But after G. Erdtman (1952) it is Dodecahedron.

- (4) Mathematical examples of tetrakaidecahedron : Snow crystal, tetrakaidecahedron of Lord Kelvin, soapsud bubble, clay-ball and shot of lead etc.
- (5) Palyno formula of Tetrakaidecaheron of *Gypsophila* and *Dianthus* P-ana (6×1) + E-ana ($? \times 6$) + E-cata ($? \times 6$) + P-cata (6×1) = Tetrakaidecahedron pollen of *Gypsophila* (Caryophyllaceae)
Crystal formula (SNOW) of Tetrakaidecahedron of *Gypsophila* $(0\ 0\ 0\ 1) \times 2 + (1\ 0\ \overline{1}\ 0) \times 12 = (0\ 0\ 0\ 1) \times 1 + (1\ 0\ \overline{1}\ 0) \times 6 + (1\ 0\ \overline{1}\ 0) \times 6 + (0\ 0\ 0\ 1) \times 1$
Crystal-Palyno formula of Tetrakaidecahedron pollen of *Gypsophila*
 $(0\ 0\ 0\ 1) = P\text{-ana } (6 \times 1) + (1\ 0\ 1\ 0) E\text{-ana } (? \times 6)$
 $(1\ 0\ 1\ 0) = E\text{-cata } (? \times 6) + (0\ 0\ 0\ 1) P\text{-cata } (6 \times 1) =$
- (6) La Nature c'est le modèle variable et infini qui contient tous les styles. Elle nous entoure mais nous ne la voyons pas. Rodin Auguste Rodin (1840—1917) (France).
Le pollen c'est le modèle variable et infini qui contient tous les styles. Il nous entoure mais nous ne le voyons pas.

参考文献

- ダーシー・トムソン 1973 生物のかたち 東京大学出版会
- Escher, M. 1983 Univers of Mind Play
- 幾瀬マサ 1956 日本植物の花粉 広川書店
- 小林禎作 1980 六花の美 サイエンス叢書〔N-12〕
- 宮崎興二 1983 かたちと空間 朝倉書房
- 野口 広 1981 図形あそびの世界 講談社
- Ohtake, T. 1970 Unusual crystal in ice fog. T. Atom. Sci. 27: 509—511
- 高木隆司 1978 「かたち」の探究 ダイヤmond社
- Theodore Andrea Cook 1978 The Curves of Life. Dover Publ. N. Y.
- 上野実朗 1972 花粉形態学における数学的解析 I 正12面体 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研究 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 花粉形態学における数学的解析II 日本花粉学会会誌 24: 45—50
- 上野実朗 1982 花粉形態学における数学的解析III 4面体とその変形 Triprojectacites 化石花粉群 日本花粉学会会誌 28—1: 13—20
- 上野実朗 1983 花粉形態学における数学的解析IV 天然6面体（ツルムラサキ）と人工6面体（カニサボテン） 日本花粉学会会誌 29—1: 11—23
- 上野実朗 1983 改訂版 花粉百話 風間書房
- 山下 晃 1974 大型低温箱を使った氷晶の研究 気象研究ノート 123: 47—94
- Wodehouse, R. P. 1935 Pollen Grains. McGraw-Hill N. Y.

* シュレジンガーの猫 (p.47 の註)

Erwin Schrödinger (1882) はシュレジンガーの波動方程式で有名。1933年デイラックとともにノーベル物理学賞を受く。「シュレジンガーの猫」とは彼が箱の中に猫を入れ、猫が死んでいるか、生きているかを物理学者に質問した。答は箱を開かなければできない。理論だけで答は得られないという話。事実の確認こそ大切である。

花粉学研究

上野 実朗著

文部省助成学術図書
B5判・542頁
定価 23,500円

花粉の構造と機能を中心として論述。花粉の定義、特に裸子植物の花粉についてその形態学的形質、発生学的形質、実験結果などに加え、被子植物の花粉においても研究結果を報告する。また、著者自ら体験した花粉症などの広範囲の研究をわかりやすく、しかも学術的に解説するほか、難解な花粉学の専門用語に多くのページをあてている。光学・電子顕微鏡写真やスケッチを豊富に収載!

東京都千代田区 風間書房 電 03-291-5729
神田神保町1-34 振替東京1-1853

TOKOHA UNIVERSITY

本格的教員養成の大学

—21世紀の人づくりをめざして
教育学部／初等教育課程

常葉学園大学

〒420 静岡市瀬名1000 TEL.(0542) 63-1125

●常葉学園短期大学

〒420 静岡市瀬名1480 TEL.(0542) 61-1313

中学生レベルの実験書・入門書

花 粉 百 話

昭和54年6月15日 初版発行
昭和57年4月30日 改訂版発行

改訂版 花 粉 百 話 —楽しい入門書—

定価 950円

著者 上野 実朗
発行者 風間 務
印刷者 西村 弥満治

発行所 株式会社 風間書房

〒101 東京都千代田区神田神保町1-34
電話03(291)5729・振替東京1-1853番

(精文堂印刷・製本)

ISBN4-7599-0514-6

【本書の内容】

100の項目からなるこの本は、著者の40余年の経験から生まれた花粉についての分りやすい入門書です。▶花粉研究の歴史や、いろんな国々の花粉学研究の現状を紹介したり、花粉の物理的・化学的実験の具体例を示しながら花粉の仕組と働きを説明したりします。▶また、著者もかかった花粉症の話や、花粉模型の作り方・花粉の食べ方・花粉のための顕微鏡の選び方などの楽しいお話も多く載せてあります。