

目次

【論文】

内部で粉流体なだれが起こる円筒の斜面上での回転落下運動 平山修、遅成軍、宮澤達也	1
ポール・セザンヌの中心点—自筆書簡と実作品を手掛りに 秋丸知貴	11
キュビズムとガラス建築—近代技術による心性の変容 秋丸知貴	23

【シンポジウム予稿】

第70回 形の科学シンポジウム「色と構造」予稿（追加掲載）	33
第71回 形の科学シンポジウム 「形、模様、画像の時間変化の科学と応用」	35

【会告】

事務局からのニュースメール	115
会告	117
形の科学会誌の原稿募集	118
『形の科学会誌』論文投稿の案内	119
形の科学会入会案内	121

内部で粉粒体なだれが起こる円筒の斜面上での回転落下運動

平山 修¹⁾, 遅成軍¹⁾, 宮澤達也¹⁾

1)東京農工大学工学部機械システム工学科 〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

E-mail: 1)hrym@cc.tuat.ac.jp

Rotational motion of a drum on a slope with inner granular material avalanche

Osamu HIRAYAMA¹⁾, Chi SEIGUN¹⁾, Tatsuya MIYAZAWA¹⁾

1)Department of Mechanical Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Naka-cho 2-24-16, Koganei, Tokyo 184-8588, JAPAN

(2010年10月29日受付、2011年4月8日受理)

Abstract The motion of the center of a drum rolling down on a slope and the behavior of the granular material avalanche in the drum were observed by performing experiments. It was clarified that as the slope angle increased the temporal evolution of the drum velocity changed from periodical to the monotonically increasing one. It was also confirmed that the shape of the free surface of the granular material changed from plane-like to S-like. A simple dynamic model containing the interactions between the drum motion and the behavior of the avalanche is constructed and some explanations on the experimental results are given by using this model.

Key Words: rotational motion, drum, slope, granular material, avalanche

1. はじめに

近年、粉粒体の挙動の特殊性に関心が高まり、その研究が盛んになった[1][2][3]. その一つに粉粒体なだれについての研究が挙げられる. このテーマは、なだれの諸性質を研究することでその予測に役立つなど防災という実用的な観点から[4][5]とともに、粉粒体の一つの巨視的な運動パターンの研究という基礎科学的な観点からも取り上げられてきた. 後者の例として、自己組織臨界現象の典型例としてなだれを取り上げる研究も存在する[6][7].

ところで、粉粒体なだれの研究に際して取り上げられる典型的な例としては、直方体形状の容器の上部から粉粒体を少量ずつ注入することで生じるなだれについての研究[8][9]や、あるいは円筒容器内に容器の半分まで粉粒体を入れ、円筒を中心の回りに回転させて内部に生じるなだれを調べるという研究[10][11][12][13]が存在する. これらの研究では、粉粒体を入れた容器自体は固定され静止しているか、中心軸の周りに一定の角速度で強制的に回転させられるというもので、容器自体の運動は興味の対象外である. しかしながら、粉粒体を入れた容器自体に運動の自由度が存在する場合には、容器の運動が粉粒体のなだれの挙動を決定し、かつ、内部のなだれが容器の運動に影響を与える. このような、内部

なだれとの相互作用のもとでの容器自体の巨視的な運動についての研究はこれまでにほとんどなされていない。本研究では、そのような場合の一例として、円筒容積の半分の量の粉粒体を入れて、斜面上で円筒を回転落下させる場合を取り上げる。この系では容器の運動はその中心の斜面に沿っての速度あるいは中心の周りの角速度で表すことができる。本論文では、これらの系を対象とした実験の方法、結果について報告し、さらにいくつかの特別な場合について、簡便な理論モデルに基づく予測値と実験結果との比較検討を行う。

2. 実験装置と方法

次の手順で装置を用意し、実験を行った。

(1) アクリル製の円盤(直径 200 mm, 厚さ 3 mm) 2枚と, 外径 200 mm, 長さ 30 mm, 厚さ 3 mm の円筒を接着して閉じた円筒容器を作成した。粉粒体として, 直径約 1mm, 比重 1.04 の樹脂製のビーズ粒子を用意し, 容器を密閉する前に円筒の容積の半分に相当する量の粉粒体粒子を内部に入れた。図 1 (a)はビーズを円筒に封入した状態である。画像解析のために円筒の中心の位置に目立つ印をつけ, マーカーとした。

(2) 鉄製アングルの台座の上にコの字断面(幅 50 mm) のアルミチャンネルを差し渡しして斜面とした。斜面の角度は任意に変化させることが可能である。

(3) 粉粒体入り円筒を, 静止させた状態で, 目視により自由表面がほぼ水平となる向きに斜面上にセットしてから手を離し, 図 1 (b)のように斜面上を回転落下させた。円筒が動き出すことを確認してからこの運動をビデオカメラで撮影した。画像の時間間隔は 1/30 秒である。

(4) ビデオカメラに記録された静止画像から, 円筒中心の位置の変化および自由表面の形状を求めた。円筒中心の位置については, 画像処理ソフトウェア Dip-MACRO (ディテクト社)を用いて円筒中心に付けたマーカーの画像を二値化することにより, 各時刻の中心位置の水平座標および鉛直座標の組 (x, y) を求めた。各時刻における (x, y) の組は Excel (Microsoft 社)上に記録される。次に隣り合うタイムステップの間の移動距離を求めて,

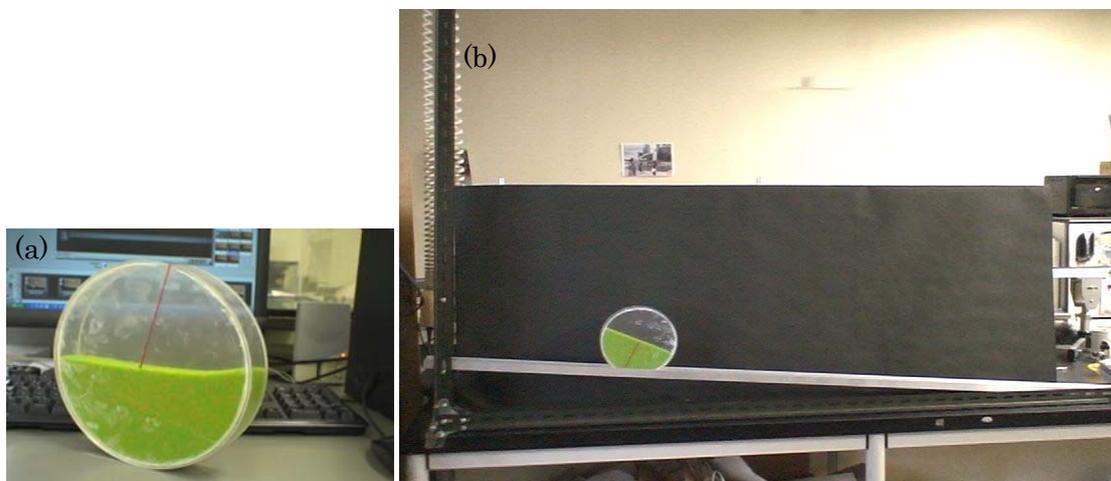


図 1. 実験装置. (a)粉粒体を封入した円筒 (b)装置全景

その間の速度を算出した。さらに、円筒が斜面上を滑らずに運動していると仮定して、円筒の重心の周りの回転の角速度を求めた。これらの操作はすべて Excel 上で手動で行った。

3. 実験結果

斜面角 α を 5.5° , 6.4° , 7.4° , 8.4° , 9.4° , 10.4° , 11.2° と変化させて、それぞれの場合について円筒重心速度の時間変化および自由表面形状を調べた。

3-1. 円筒重心速度の時間変化

斜面角 $\alpha = 5.5^\circ, 8.4^\circ, 11.2^\circ$ の場合について、円筒重心速度の時間変化を図 2 に示す。いずれの場合も、数 cm/s 程度の振幅で 0.03 秒程度の非常に短い周期の振動が含まれているが、これは各時刻におけるマーカーの画像の読み取り誤差によるものと考えられる。すなわち、画面全体のドット数が 1024×768 で画面の全横幅が実際の約 1700mm の長さに対応するので、1 ドットが約 1.7mm に対応し、これを隣り合う画像の時間間隔 1/30 秒で割ると、速度についての測定誤差の大きさとして約 $51\text{mm/s} = 5.1\text{cm/s}$ が得られる。以下では、それらの誤差を除外した特徴的な変化について述べる。

図 2 (a) は斜面角 $\alpha = 5.5^\circ$ の場合で、円筒重心速度が数秒の周期で周期的に変化していることがわかる。平均加速度はほぼ 0 である。図 2 (b) は $\alpha = 8.4^\circ$ の場合で平均加速度 = 6.9cm/s^2 であり、図 2 (c) は $\alpha = 11.2^\circ$ の

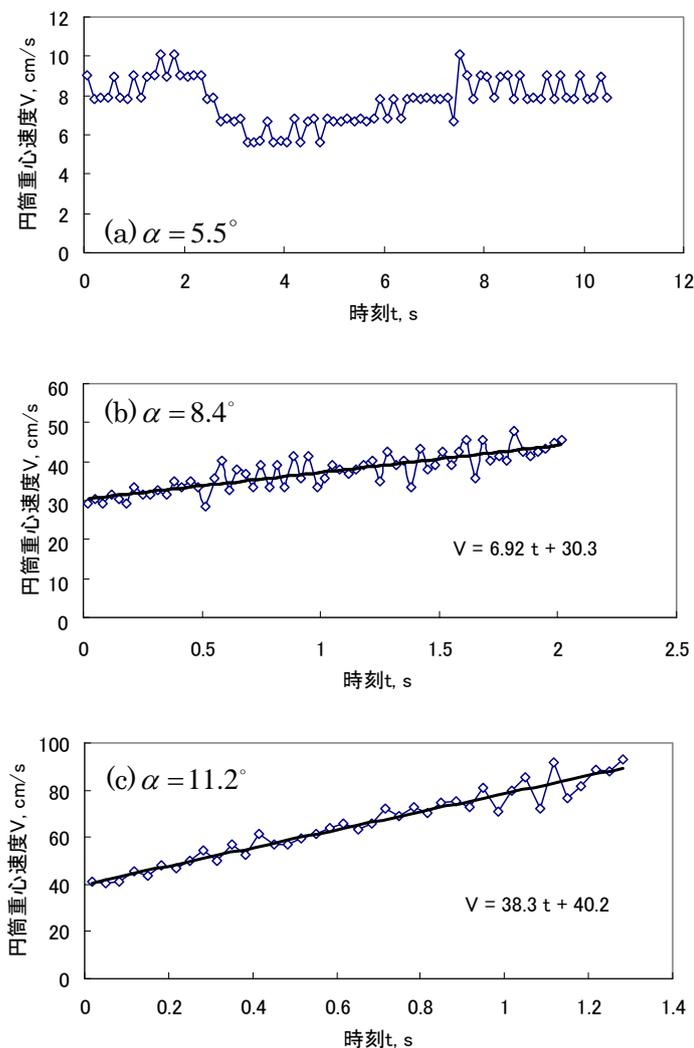


図 2. 円筒重心速度の時間変化。
(a) 斜面角 $\alpha = 5.6^\circ$ (b) $\alpha = 8.4^\circ$ (c) $\alpha = 11.2^\circ$

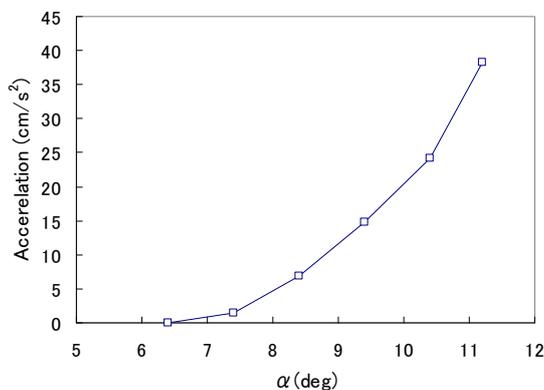


図 3. 斜面角と円筒重心の平均加速度の関係

場合で平均加速度 = 38cm/s^2 である。 α と平均加速度の関係を図 3 に示す。 平均加速度は斜面角 α とともに単調かつ急激に増加するが、これらの値は、剛体円柱を斜面上で回転落下させた場合の加速度 = $(2/3)g \sin \alpha$ ($\alpha = 8.4^\circ$ の場合は 110 cm/s^2 , $\alpha = 11.2^\circ$ の場合は 127 cm/s^2) や、厚さの無視できるリング状剛体の加速度 = $(1/2)g \sin \alpha$ と比べて非常に小さいことが分かる。

3-2. なたれの形状 (自由表面の形状)

図 2 に対応する斜面角の場合について、自由表面のようすを図 4 に示す。

図 4(a)は $\alpha = 5.5^\circ$ の場合で、自由表面を円筒底面に射影した形状 (以後、表面の形状と記す) は直線に近い (以後、このパターンをパターン I と称する)。 図 4(b)は $\alpha = 8.4^\circ$ の場合で、表面の形状は S 字型になっている (以後、パターン II と称する)。 図 4(c)は $\alpha = 11.2^\circ$ の場合で、円筒が斜面を下るにつれて、円筒の全側面が粉粒体によって覆われる割合が大きくなり、ついには全側面が粉粒体によって被覆されるようになることを示している。 この状態において、円筒の内部での粉粒体の分布状態を観察することは不可能であるが、内部の空間を粗に充填していると思われる。 (以後、パターン III と称する)。 パターン I からパターン II への遷移の臨界角は約 5.6° , パターン II からパターン III への遷移の臨界角は約 9.1° であることがわかった。 ただし、これらのパターンの分類は定性的なものに過ぎず、また、その斜面角 α への依存性は円筒容器が長さ約 200cm の斜面上

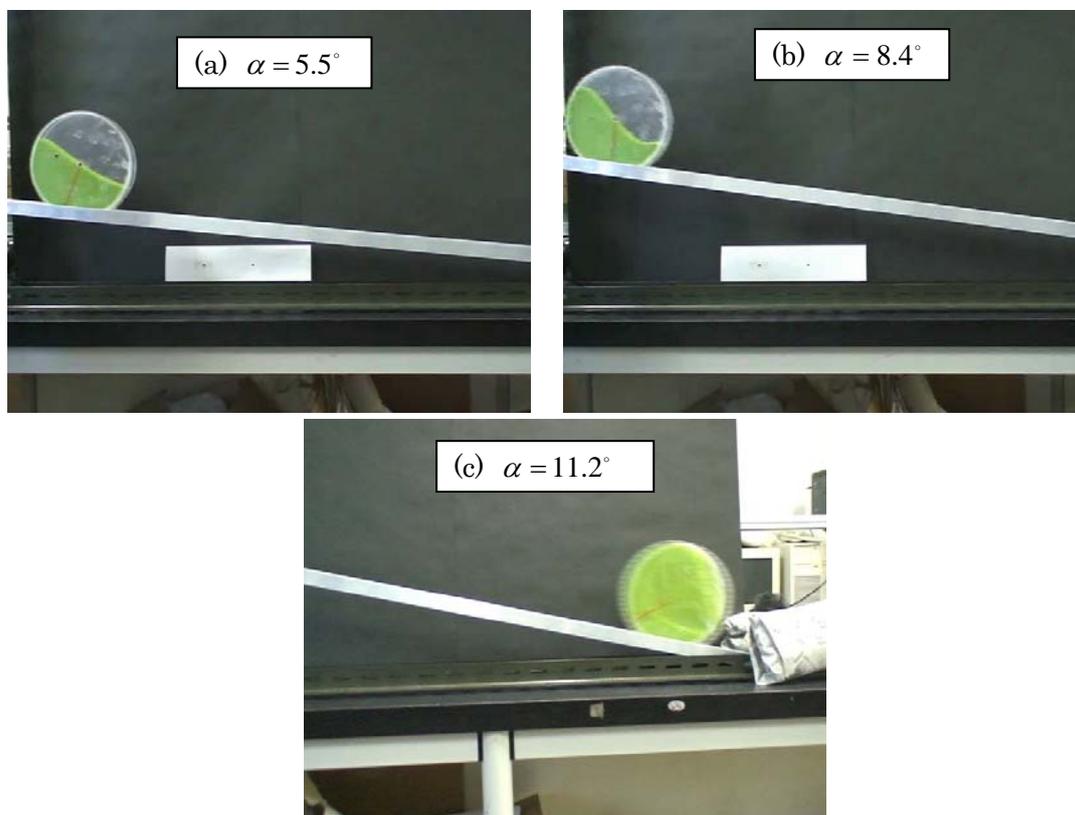


図 4. 回転落下円筒中の粉粒体なたれの自由表面形状

を移動する範囲で観察されたものである。斜面が実際の装置よりももっと長く延長されている場合には、(b)の斜面角においても斜面のずっと下方に円柱が到達したときには、円筒の角速度が大きくなる結果、遠心力のはたらきによりパターン III のなだれが起こると考えられる。

4. 理論モデルによる考察

4-1. 理論モデル

ここで、円筒重心の運動と粉粒体なだれの相互作用について、簡便なモデルを用いていくつかの考察を行う。粉粒体のダイナミクスについてはいろいろな研究がなされているが、その理論は極めて複雑で難しい[2][3][10]。そこで、以下では、できる限り初等的な力学モデルを用いて実験結果を説明することを試みる。さらに、考察を簡単にするために、粉粒体表面（自由表面）の形状が直線である場合を考え、現象に関係する量および点に対して記号を次のように定める（図5）。

α : 斜面角度, R : 円筒半径, w : 円筒幅, O : 円筒重心, G : 粉粒体重心,
 M : 円筒質量, m : 粉粒体質量 I_0 : O を通る軸の周りの円筒の慣性モーメント,
 I_G : O を通る軸の周りの粉粒体の慣性モーメント, x : 円筒重心の斜面に沿った変位,
 ω : 円筒の重心の周りの回転運動の角速度, θ : 自由表面角度, l_G : GO 間距離

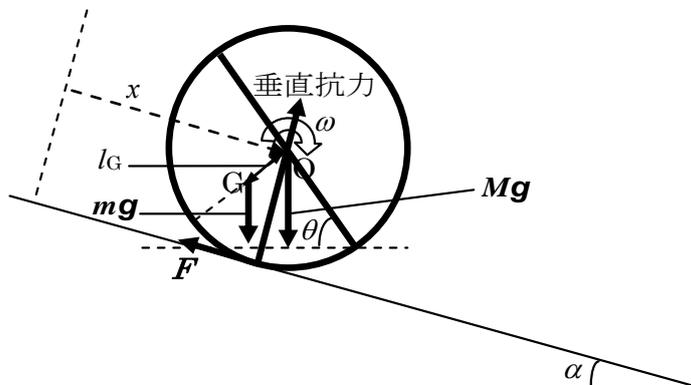


図5. 自由表面形状が直線の場合の理論モデルの概要図

このモデルにおいて円筒および粉粒体にはたらく外力は、円筒に対する重力、粉粒体に対する重力、斜面からの垂直抗力および摩擦力の4つである（空気抵抗は無視する）。重力加速度を g 、垂直抗力を N 、摩擦力を F と表すと、円筒重心の並進運動の運動方程式および重心の周りの回転運動の運動方程式は次のように書くことができる。

$$(M + m)\ddot{x} = (M + m)g \sin \alpha - F \quad (1)$$

$$(I_0 + I_G)\dot{\omega} = FR - mgl_G \sin \theta \quad (2)$$

斜面角 α が十分小さい場合、円筒の運動は斜面に対するすべりを伴わない回転運動である

ので

$$\dot{x} = V = R\omega \quad (3)$$

の関係が成り立つ。(1)・(3)から x および F を消去すると、 ω に対する運動方程式として

$$\dot{\omega} = \frac{g[(M+m)R \sin \alpha - ml_G \sin \theta]}{(M+m)R^2 + (I_0 + I_G)} \quad (4)$$

が得られる。ここで、 g, M, m, R, α はあらかじめ与えられたパラメータであり、 I_0, I_G, l_G については、次のように求められる。まず、円筒容器の質量 M のうち、周部分の質量を M_1 、底面部の質量を M_2 とすると、

$$I_0 = M_1 R^2 + \frac{1}{2} M_2 R^2 = \frac{1}{2} M R^2 \frac{1+2w/R}{1+w/R} \quad (5)$$

また、粉粒体についてはその全質量が自由表面より下の部分に一様に分布していると仮定すると、簡単な計算により

$$I_G = \frac{1}{4} m R^2, \quad l_G = \frac{4R}{3\pi} \quad (6)$$

となることがわかる。(5),(6)を代入することにより(4)は

$$\dot{\omega} = \frac{(M+m) \sin \alpha - \frac{4}{3\pi} m \sin \theta}{M \left(1 + \frac{1/2 + w/R}{1+w/R} \right) + \frac{5}{4} m} \frac{g}{R} \quad (7)$$

となる。一方、 θ の変化については、

$$\dot{\theta} = \omega - \frac{2}{R^2} D \quad (8)$$

と表すことができる。ただし、 D は円筒の軸方向単位長さあたりの粉粒体のなだれの流量 (cm^2/s) であり、 $2/R^2$ の係数を掛けることにより自由表面角度の変化への換算を行っている。

ここで、なだれの発生に関して、自由表面角度 θ が臨界角度 θ_c 以下ではなだれは起こらず、 θ が θ_c を越えたときに厚さ h (一定) の自由表面の粉粒体層が角度 θ の斜面に沿ってなだれを起こすと仮定する。この層の内部での速度は表面からの深さに応じて単調に減少することが知られているが ([3][8][12])、ここでは考察を簡単化するために、厚さ h の層が一様な速度で流れているとし、さらに、この運動は等加速度運動であると仮定する。すなわち、 D の支配方程式を

$$\left. \begin{aligned} \dot{D} &= hg(\sin \theta - \mu \cos \theta) & (\theta > \theta_c) \\ D &= 0 & (\theta \leq \theta_c) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

とする。ただし、 μ は粉粒体層の実効的なすべり摩擦係数である。上述した仮定は、円筒容器が固定軸の周りに回転運動をする場合の内部の粉粒体なだれについてのスティックスリップモデル (文献[2]) を拡張したものである。 θ_c の大きさは、次のような補助的な実験から求めた。円筒の中心を一定位置に固定し自由表面を水平にした状態から、容器を中心軸の周りに少しずつゆっくりと回転させることで自由表面角 θ を少しずつ大きくしてゆ

くと、 θ が約 22° のときに表面のビーズ粒子が滑り出した。このことから、 $\theta_C = 22^\circ$ と求められる。この臨界角 θ_C を摩擦角に対応させると、実効的な静止摩擦係数 μ_s が $\mu_s = \tan 22^\circ = 0.40$ となり、(9)式のすべり摩擦係数は、 $\mu < 0.40$ を満たすと考えることができる。(7),(8),(9)は ω, θ, D について閉じた方程式系を構成している。

4-2. 斜面角 α が微小な場合の運動

これらの式を用いると次のことが理解できる。(7)式より、粉粒体に作用する重力は円筒の回転の角加速度 $\dot{\omega}$ を抑制するはたらきをすること、すなわち、自由表面角 θ が小さい状態では $\dot{\omega}$ は大きく、 θ が大きくなると $\dot{\omega}$ は小さくなることがわかる。したがって、一般に θ は振動的に変動することが予測できるが、斜面角 α が非常に小さい場合には、 $\theta = 0, \omega = 0$ の初期状態から出発すると、 θ は臨界角 θ_C に達するほどには大きくなり、 θ および ω はなだれが起こらない状態での振動的な変動を行うと考えられる。

このことを確認するために、(7),(8),(9)式を差分化し、単純オイラー法により、従属変数 ω, θ, D の時間変化を計算する数値シミュレーションを行った(シミュレーションはExcelを用いて行った)。シミュレーションで使用するパラメータには、 $M = 0.290\text{kg}$ 、 $m = 0.280\text{kg}$ 、 $R = 100\text{mm}$ 、 $w = 30\text{mm}$ 、 $w/R = 0.3$ の実験値を用い、さらに、(6)式から $l_G = 0.4244R$ とした。また、すべり摩擦係数については、 $\mu < 0.40$ を満たす値として $\mu = 0.38$ を仮定した。初期状態については、 $\omega = 0, \theta = 0, D = 0$ とした。シミュレーションの結果、 $\alpha \leq 2.3^\circ$ の際には、 ω および θ は振動的に変化し(一例として、 $\alpha \leq 2.5^\circ$ の場合、 $-0.8 \leq \omega \leq 0.8 \text{ rad/s}$ 、 $0 \leq \theta \leq 25^\circ$)、 D は0のままであった。すなわち、円筒はなだれを伴わない振動運動を行い、その中心位置の変位は平均して0であることがわかった。ただし、実験においては、このような小さな斜面角 α の場合には、円筒の回転運動(すなわち中心の並進運動)は観測することができなかった。

4-3. $\alpha = 5.5^\circ$ の場合の結果についての考察

次に、図2(a)のように α が小さく、かつ円筒に回転が生じる場合には、 ω が振動的に変化することを(7),(8),(9)式を用いて次のように定性的に説明できる。まず、自由表面角 θ が小さい状態にあったとすると角加速度が大きいため ω は急速に増えてゆく。それに伴って θ も増加してゆく(その間になだれは起こらない)。その結果、角加速度が減少し、 α が十分に小さいので角加速度は負になり、 ω は減少する。このとき θ が θ_C を越えるとなだれが起こり θ の値が急激に減少する。その結果、角加速度は再び正となり、 ω は増加し始める。このようにして ω が振動的に変化することを説明できる。したがって、この場合、 θ は一定でなくやはり振動的に変化すると考えられるが、近似的には $\dot{\omega} = 0$ として、(7)式から $\alpha = 5.5^\circ$ に対する θ を

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{M+m}{0.424m} \sin \alpha\right) = \sin^{-1}\left(\frac{0.290+0.280}{0.424 \times 0.28} \sin 5.5^\circ\right) = 27.4^\circ \quad (10)$$

と求めることができる。この値は図 4(a)に示される実験結果とほぼ一致する。

α がやや大きくなると、なだれは連続的に起こるようになるが、表面角 θ や円筒速度はやはり振動的に変化する。 α が大きくなるにつれ、この振動の効果は小さくなることも定性的に理解できる。

4-4. $\alpha=8.4^\circ$ の場合の結果についての考察

先に示したように、 $\alpha=5.6^\circ \sim 9.1^\circ$ の場合については、自由表面の形状は S 字状になる。この形状がほぼ定常に保たれている場合には、円筒重心の加速度（または重心周りの角加速度）について、自由表面の形状が直線である場合の上述の考察を若干修正するだけで適用できる。図 6 は、円筒半径 R で規格化した水平方向座標を x 、鉛直方向座標を y として、 $\alpha=8.4^\circ$ の場合の自由表面形状を、3 次曲線 $y=-ax+bx^3$ で近似的に表したものである。 a, b は正の定数で、 a は原点（円筒中心）における接線の傾きに等しく、この接線と x 軸のなす角度を自由表面角 θ と定義すると、 $a=\tan \theta$ で、この場合は、実験で得られた静止画像に合うように、 $\theta=48^\circ, a=1.11, b=0.65$ と定めた（図 4(b)の実際の画像は S 字の上側円筒壁に接する部分と下側円筒壁に接する部分とでその形状がやや異なり、3 次曲線で正確に表すことは不可能であるが、粉粒体の重心 G の位置を簡便に求めるためにこのような近似を採用した）。

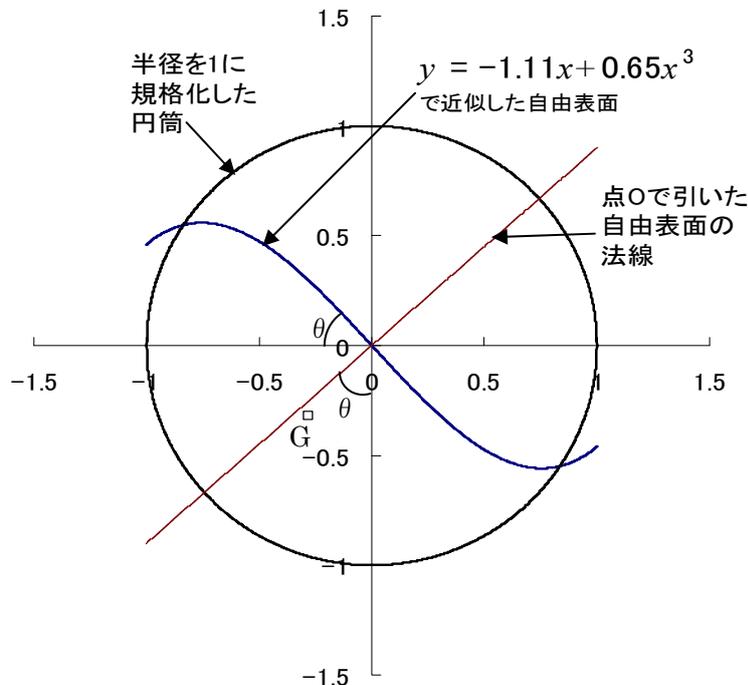


図 6. $\alpha=8.4^\circ$ の場合の S 字型

この自由表面の下の部分に粉粒体が一様に分布しているとして、Gの位置を数値的に求めると図のように、中心Oで引いた自由表面への法線よりはやや下方に位置する。自由表面の形状が直線である場合にはGはこの法線上に位置するが、このずれは主として円筒周辺部での粉粒体の非対称な分布によって引き起こされたと考えることができる。そこで、線分GOとy軸のなす角度を θ' とすると $\theta'=41^\circ$ で、 $GO=0.4234R$ である。円筒の角加速度は(4)式の代わりに

$$\dot{\omega} = \frac{g[(M+m)R \sin \alpha - ml'_G \sin \theta']}{(M+m)R^2 + (I_0 + I_G)} \quad (11)$$

を用いて計算できる。ただし、 I_G については(7)式の場合と変化がないが、 l'_G については $l'_G = GO = 0.4234R$ とする必要がある。これらを用いると、円筒重心の加速度は

$$\ddot{x} = R\dot{\omega} = \frac{(M+m)\sin \alpha - l'_G \cdot m \sin \theta'}{M \left(1 + \frac{1/2 + w/R}{1 + w/R}\right) + \frac{5}{4}m} g \quad (12)$$

と表され、 $M = 0.290\text{kg}$ 、 $m = 0.280\text{kg}$ 、 $R = 100\text{mm}$ 、 $w = 30\text{mm}$ 、 $w/R = 0.3$ 、 $l'_G = 0.4234R$ 、 $\alpha = 8.4^\circ$ 、 $\theta' = 41^\circ$ 、 $g = 9.8\text{m/s}^2$ を用いると、 $\ddot{x} = 6.7 \times 10^{-2} \text{m/s}^2 = 6.7\text{cm/s}^2$ が得られる。この値は実験値にほぼ一致する。

このように、S字型の自由表面の場合、形状を与えることで円筒重心の加速度を導くことは可能である。ただし、S字型の形状がどのようにして決定されるかについては、さらに自由度を増やしたモデルを構築することが必要であり、今後の課題として残されている。

5. 終わりに

斜面上を回転落下する円筒の重心運動とその内部の粉粒体なだれの表面形状を調べる実験を行い、両者の相互作用について調べた。実験事実として、斜面角が十分に小さい場合には円筒の速度は振動的に変化し、粉粒体の自由表面は直線に近い形状を保つこと、斜面角がいくらか大きい場合には、円筒の速度は単調増加の傾向が強くなり、自由表面の形状はS字状になることを明らかにした。さらに、斜面角が十分に小さく表面形状が直線である場合について力学モデルを構築し、与えられた斜面角に対して自由表面角を導くことができることなどを明らかにした。また、S字型自由表面の場合についても円筒重心の加速度が導けることを示した。

文献

- [1]田口義弘, 砂時計の七不思議, 中公新書, 1995.
- [2]J. Duran, Sands, Powders, and Grains, Springer, 1997.

- [3]早川尚男, 散逸粒子系の力学, 岩波書店, 2003.
- [4]黒岩大助, スキーヤーのための雪の科学, 共立出版, 1972.
- [5]K. Nishimura, S. Keller, J. McElwaine, Y. Nohguchi, *Granular Matter*, Ping-pong-ball avalanche at a ski jump, **1**(1988),51-56.
- [6]P. Bak, C. Tang, K. Wiesenfeld, Self-organized criticality, *Phys. Rev. A* **38**(1988), 364-374.
- [7]四方義啓, 四方絢子, なだれ現象の解析, 形の科学会報, **10**(1995)2,37.
- [8]小松輝久, 中川尚子, 定常的な表面流をもつ粉体積層における遅い運動, 第 52 回理論応用力学講演会講演論文集, 2003, 233-234.
- [9]M. Shimokawa, S. Ohta, Dual stratification of a sand pile formed by trapped kink, *Phys. Lett. A* **366**(2007)591-595.
- [10]J. Rajchenbach, Flow in Powders: From Discrete Avalanches to Continuous Regime, *Phys. Rev. Lett.* **65**(1990)2221-2224.
- [11]O. Zik, et. Al., Rotationally Induced Segregation of Granular Materials, *Phys. Rev. Lett.*, **73**(1994)644-647.
- [12] J. Rajchenbach, Dense, Rapid Flows of Inelastic Grains under Gravity, *Phys. Rev. Lett.*, **90**(2003)144302.
- [13]I. Zuriguel, J. M. N. T. Gray, J. Peixinho, T. Mullin, Pattern selection by a granular wave in a rotating drum, *Phys. Rev. E* **73**(2006)061302.

ポール・セザンヌの中心点——自筆書簡と実作品を手掛りに
The Central Point in Paul Cézanne's Composition
: Inferences from His Letters and Artworks

秋丸 知貴 (美術史家)
Tomoki Akimaru (Art Historian)

(2011年1月24日受付、2011年4月8日受理)

Keywords: Paul Cézanne, painting technique, composition, a central point, style analysis

Abstract: Numerous researchers have discussed Paul Cézanne's painting techniques. However, the analysis of one technique remains limited: the central point in Cézanne's composition. This paper stylistically analyzes this problem on the basis of his letters and artworks: letters from Cézanne to Émile Bernard dated April 15 and July 25, 1904, and paintings such as *Mont Sainte-Victoire with Large Pine* (c. 1887) and *Still Life, Bowl and Milk Jug* (c. 1879).

1. はじめに

従来、ポール・セザンヌの絵画技法は、数多くの研究者により論じられてきた。しかし、これまで誰からも明確には指摘されてこなかった一つの技法がある。それは、構図の中心点である。本論文は、セザンヌの自筆書簡と実作品に基づき、彼の絵画作品における構図の中心点を様式分析する。

2. 自筆書簡における構図の中心点

セザンヌは、1904年4月15日付エミール・ベルナール宛書簡で、自らの絵画理論について次のように説明している[1]。

自然を、円筒体、球体、円錐体で扱い、全てを遠近法の中に置きなさい。つまり、一つの面である、一つの事物のそれぞれの側面が、一つの中心点に向かって行くようにしなさい。

(*Traitez la nature par le cylindre, la sphère, le cône, le tout mis en perspective, soit que chaque côté d'un objet, d'un plan, se dirige vers un point central.*)

また、セザンヌは、1904年7月25日付エミール・ベルナール宛書簡で、自らの絵画理論について次のように解説している[2]。

大いに見詰め仕事をすると、目は集中するようになります。私が述べたいことは、オレンジにも、リンゴにも、ボールにも、頭部にも、一つの頂点があるということです。そして、その頂点は常に、——光と影、彩る感覚の恐るべき効果にも拘らず——、私達の目に最も接近しています。事物の周縁は、水平線上に置かれた一つの中心に向かって逃げて行きます。

(*Il devient concentrique à force de regarder et de travailler. Je veux dire que, dans une orange, une pomme, une boule, une tête, il y a un point culminant; et ce point est toujours — malgré le terrible effet: lumière et ombre, sensations colorantes — le plus rapproché de notre œil; les bords des objets fuient vers un centre placé à notre horizon.*)

この二つの書簡は、ジョン・リウールド編集のセザンヌの自筆書簡集に収録されており、セザンヌ自身の肉声証言と考えて良い。また、その宛先が同一人物であるエミール・ベルナルであり、送付時期も約3カ月しか変わらないので、セザンヌがここで同一の絵画理論について語っている可能性は高い。そのことは、後者の手紙の「オレンジ」「リンゴ」「ボール」「頭部」が全て、前者の手紙の「球体」と解釈でき、それらが「事物」として水平線上の一つの中心へという「遠近法」の中に置かれることから推理できる。さらに二人が、セザンヌがその翌年の1905年10月23日付エミール・ベルナル宛書簡で、「私はあなたに絵画における真実をお話する約束ですから、今度またそれをお話しましょう[3]」と約束する親密な間柄である以上、ここで説かれている内容が、セザンヌの本心からの絵画理論である可能性も高い。そして、セザンヌが減多に自分の絵画理論を公表しなかった点でも、この二つの証言は非常に貴重であり、ここで論じられている内容は極めて重視される必要がある。

ここで注目すべきは、セザンヌがこの二つの書簡で、「構図の中心点」について語っている問題である。事実、前者の手紙では、画中の遠近法の中に置かれた事物の側面を「一つの中心点」に向かって行くように描くことが説かれている。また、後者の手紙では、画中の事物の周縁を水平線上に置かれた「一つの中心」に向かって逃げて行くように描くことが論じられている。これらの証言から、セザンヌが絵画制作において意識的に「一つの中心（点）」を設定していることは確かである。また、セザンヌがその「一つの中心（点）」に画中の事物を関係付けて描こうとする以上、この「一つの中心（点）」が、画中の構成要素を統合する構図の中心点であることも明らかである。特に、後者の手紙は、「大いに見詰め仕事をすると、目は集中する（＝同一の中心に集まる）ようになります」と教えており、この「一つの中心（点）」を構図の中心点と見なす解釈を補強する。

これに関連して、実際にセザンヌの絵画制作に随行し、直接その絵画理論を聞いていたジョアシャン・ガスケも、『セザンヌ』（1921年）で、セザンヌが構図の中心点について下記のように話していたことを伝えている[4]。この証言は、直接証言ではなく間接証言であるため一定の留保が必要であるが、もしセザンヌの発言をある程度正確に伝えているならば、やはりセザンヌが何らかの構図をまとめる中心点を用いて絵画制作を行っていた事実を窺わせる。そしてその場合、セザンヌにとってこの構図の中心点は、画中に存在することが望ましいとはいえ、絵画制作の際に常に必ず全てに先立って用いられる教条的技法ではなかったことも推察される。

——時々、彼は言っていた。これこそ、私が後世に遺す作品となるでしょう……。しかし、中心は？ 私は、中心を見出すことができません……。ねえ、何の周りに対象全体をまとめれば良いのでしょうか？ ああ、プッサンのアラベスク！ 隅々まで自分の作品を熟知していましたよ、あの画家は。ロンドンの《バッカス祭》にしても、ルーヴルの《フローラ》にしても、群像や風景の線がどこから始まってどこで終わるのか……。一体でしかないのです。中心などはありません。しかし、私は一つの穴のようなものを求めます。光の一瞥、つまり目に見えない太陽のようなものが群像全体を見張り、降り注ぎ、愛撫し、強烈にするのです……。中央で。（— Ce sera mon tableau, disait-il parfois, ce que je laisserai... Mais le centre? Je ne puis trouver le centre... Autour de quoi, dites, les grouper toutes? Ah! l'arabesque de Poussin. Il la connaissait dans les coins, celui-là. Dans les Bacchanales de Londres, dans la *Flore* du Louvre, où commence, où finit la ligne des corps et du paysage... Ça ne fait qu'un. Il n'y a pas de centre. Moi, je voudrais comme un trou, un regard du lumière, un soleil invisible qui guette tous mes corps, les baigne, les caresse, les intensifie... au milieu.)

ここで注視すべきは、セザンヌにおける構図の中心点と画家（観者）の間には、一定の想像上の空間的距離が予想される問題である。例えば、前者の手紙では、「遠近法」の中に置かれた事物の側面が「一つの中心点」に「向かって行く」ことが奥行を示唆しており、後者の手紙では、事物の周縁が「水平線」上に置かれた「一つの中心（点）」に向かって「逃げて行く」ことが奥行を暗示している。そのため、まずこのセザンヌの構図の中心点は、一点透視遠近法の集中点を意味するのではないかと推測される。しかしその場合、それでは果たしてなぜ一体、セザンヌはそうした子供でも常識的に知っている初歩的な古典的絵画技法を、当時 40 歳で不惑の画家であるベルナールにわざわざ改めて説明しなければならないのだろうかという疑問が生じる。そのことから、このセザンヌの構図の中心点は、実際には一点透視遠近法の集中点のみならず、何か別の意味内容も含んでいるのではないかと推定される。それでは次に、セザンヌの実作品において、この構図の中心点がどのように実践されているか分析しよう。

3. 実作品における構図の中心点

まず、セザンヌの《サント・ヴィクトワール山と大松》（1887 年頃）（図 1）を見てみよう。この作品では、画面中央の山腹の最も広い山肌のほぼ中心に、細く尖った棒の先に赤茶の絵具を塗って軽く押し付けたような明瞭な一つの小点を見出せる。また、この小点を構図の中心点として見ると、画面全体の構成要素、特に近景の歪曲的な松の幹枝等が求心的に緊密に呼应し合い、中心画題である山嶺に視線を集中させるように感じられる。

つまり、画面左下から近景の松の幹に沿って上方に導かれる視線は、画面左上で幹の両側からサント・ヴィクトワール山を挟み込むように伸びる枝葉へ移り、さらに画面上部を右手に波打ちつつ消えて行く三本の枝葉へ流れて行く。そして、遠景の山麓から近景の画面右下へ吹き抜ける見通しは、視線をサント・ヴィクトワール山に集中させ、山頂に懸かる枝葉を隠すような白い小さな筆触と相まって、問題の小点を中心に、まるで山峰が画面手前に迫り出してくるような統一的で強制的な視覚効果を生み出している。その点で、この伝統的な一点透視遠近法の集中点の位置である画面中央の最遠景に置かれた、限りなく「水平線上に置かれた一つの中心」に近い小点は、セザンヌが意図的に描き入れた「構図の中心点」と指摘できる。

こうした構図の中心点は、セザンヌの他の作品にも数多く発見できる。その特性は、「画面全体の中心にある周囲とは異なる色あるいは明るさで描かれた小さな目印」と定義でき、その代表的な用例は、図 1 のように、画面中央の遠景の事物上に赤系の小点で印されることである。別の典型例としては、画面中央の遠景の建物の手前の屋根の頂点に一つの目立つ赤い小点がある、《アヌシー湖》（1896 年）（図 2）を挙げられる。

ただし、こうした「画面中央」「遠景」「事物」「赤系」「小点」等の諸条件は、必ずしも硬直的ではなく、個々の作品ごとに多少の幅を持ち、ある程度の柔軟性も認められる。

例えば、画面中央の遠景であるが、特に何も無い場所に構図の中心点がある作例としては、陸橋の左の松葉に隠された足の次から数えて 4 番目の足のやや上方の水色の色面の上に黒い小点がある、《アルク溪谷の前の松》（1883-85 年）（図 3）、画面中央の薄赤の色面の上に赤い小点がある、《ローヴのアトリエから眺めたエクスの大聖堂》（1904-06 年）（図 4）、画面中央の山麓の二つの緑の色斑間の下辺に赤い小点がある、《ヴァルクロ街道から眺めたサント・ヴィクトワール山》（1878-79 年）（図 5）等を挙げられる。

また、画面中央であるが、中景の特に何もない場所に構図の中心点がある作例としては、画面中央の山の足下の緑の色斑の上辺に橙色の小点がある、《サント・ヴィクトワール山》（1902-06 年）（図 6）、画面中央の山の足元の濃緑と薄緑の色面の境に橙色の丸点がある、《ローヴから眺めたサント・ヴィクトワール山》（1904-06 年）（図 7）、画面中央の山の足許の緑と濃緑の色面に跨って橙色の斜点がある、《サント・ヴィクトワール山》（1902-06 年）（図 8）等を例示できる。

なお、図 1・図 2・図 3・図 4 は、いずれも画面左の近景に樹木を置き、図 5・図 6・図 7・

図 8 は、いずれも画面上部の遠景にサント・ヴィクトワール山を描く点に、もう一つの様式的特徴を観取できる。

さらに、中景・近景の事物上に構図の中心点がある作例としては、画面中央の中景の樹木の真中の幹上で、背後に緑と茶緑の色面が接している位置に赤茶の色面がある、《風景》(1888-90年) (図 9)、画面中央の近景の松の幹上で、陸橋とその上方の枝の間の緑系と白系の色斑の境に黒い小点がある、《ベルヴェから眺めたサント・ヴィクトワール山》(1882-85年) (図 10)、画面中央の近景の松の幹上で、下から 2 番目と 3 番目の枝のほぼ中間に黒い小点がある、《大松》(1887-89年) (図 11)、画面中央やや左の近景の松の幹上で、下から 2 番目と 3 番目の枝のほぼ中間に茶色の小点がある、《大松と赤土》(1890-95年) (図 12) 等を挙げられる。なお、これらの構図の中心点は、中近景の樹木の幹上に置かれている点に、別の共通特徴を看取できる。

これに加えて、《マルセイユの湾岸、エスタックからの眺め》(1885年頃) (図 13) では、画面中央やや上の遠景の対岸の緑と薄茶の色帯の境に白く丸い小点があり、《エスタックの岩》(1879-82年) (図 14) では、画面中央の近景の岩の卵形の膨らみが広義の中心点の役割を演じており、《歪んだ木》(1888-90年) (図 15) では、画面中央やや右の中景の建物の屋根とそれに懸かる枝葉の上に白混じりの橙色の丸点があり、《ジャ・ド・ブッフアン》(1890-94年) (図 16) では、画面中央の中景の家屋が広義の中心点の機能を果たしている。ちなみに、前者の二つは、どちらもエスタックから眺めたマルセイユの湾岸風景を描いており、後者の二つは、近景の樹木に挟まれた中景の家屋を焦点として扱っている点に、もう一つの共通項を讀取できる。

また、室内画でも、《テーブルクロスの上のリンゴ》(1885年頃) (図 17) では、画面中央の積まれたリンゴの上の一個のヘタ窪みが中心点であり、《リンゴとオレンジ》(1899年頃) (図 18) では、画面中央のリンゴのヘタ窪みの左端に赤い小点があり、《静物、ナシと青リンゴ》(1873-77年) (図 19) では、画面中央のナシのハイライトの黄色い色面が中心点であり、《水差と果物》(1893-94年) (図 20) では、画面中央のナシのヘタのほぼ真中に薄茶の小点を見て取れる。さらに、《東洋の織物の上の三つの頭蓋骨》(1904年) (図 21) では、画面中央の一番手前の頭蓋骨の右の眼窩のほぼ真中に赤い小点があり、《お椀と牛乳缶》(1879年頃) (図 22) では、画面中央の牛乳缶とお椀の間で、机の上辺のやや下に黒い小点があり、《カードで遊ぶ男達》(1893-96年) (図 23) では、画面中央の瓶の胴体のハイライトのやや下に地色と異なる小点があり、別の《カードで遊ぶ男達》(1892-93年) (図 24) では、同じ瓶の胴体のハイライトの下に接する橙色の小点を構図の中心点と判定できる。

特に、《お椀と牛乳缶》では、その黒い小点を構図の中心点として見ると、それまで不自然にひしゃげて見えていた牛乳缶とお椀等が、急に秩序立って求心的に呼応し合うことを指摘できる。すなわち、左の牛乳缶は構図の中心点に沿うようにやや「C」字型に湾曲し、右のお椀も同点に向かって膨らむように傾き、さらに右背後の模様も同点に向かって一緒に引き寄せられるように見える。

そして、群像の人物画でも、《永遠の女性》(1877年頃) (図 25) の画面中央の女性が広義の中心点であることは疑いないが、《近代のオランピア》(1873-74年) (図 26) では、画面中央の女性の乳房の赤い小点が中心点であり、《ナポリの午後(黒人従者のいる)》(1876-77年) (図 27) では、画面中央の食器の胴体中央の白いハイライトが中心点であり、《聖アントワヌの誘惑》(1877年頃) (図 28) では、画面中央の女性の臍が中心点であると同定できる。また、《五人の水浴する女達》(1877-78年) (図 29) では、画面中央の女性の陰部に赤い小点があり、《水浴する女達》(1875-76年) (図 30) では、画面中央の女性の右肩に黒い小点があり、油彩の《愛の闘い I》(1879-80年) (図 31) では、画面中央の女性の挙げた掌に薄赤の小点があり、水彩の《愛の闘い》(1875-76年) (図 32) でも、同じ画面中央の人物の挙げた掌に黒い小点が描示されている。

そして、単体の人物画でも、《腕を広げた水浴の男》(1877-78年)(図33)では、画面中央の男性の臍が中心点であり、最晩年の《座る男》(1905-06年)(図34)でも、画面中央の男性のみぞおちの水色の色面の上にある赤茶の小点を中心点と特定できる。

それでは、ここで改めて、これらの構図の中心点の視覚効果を個々の作品に即して描述してみよう。

まず、図1から図4では、中心点は、画面を支配する数本の直線や曲線の構成線を結集させている。つまり、図1では、構成線は、画面左上隅から松の枝に沿って「つ」字型に孤を描き、中心点を境に「C」字型に折れ曲がり、地表の斜線(＼)に沿って画面右下隅に流れて行く。また、図2・図3・図4では、中心点から画面の四隅四方に「×」字型に彩色の濃淡が生む構成線が伸びている。それらは特に、中心点を頂点とし、画面左の近景の樹木の上下を底辺とする三角形構成が顕著である。

また、図5から図8では、画面を支配する幾何学的な図形の中央に中心点がある。すなわち、図5では、構成線は、画面左上隅からサント・ヴィクトワール山の右側の稜線(＼)に沿って伸び、画面右中央の中景の小屋で「>」字型に折れ曲がり、三角形を描いて画面左下隅に至る(／)。同じく、もう一つの構成線が、画面右上隅から斜めに伸び(／)、その小屋とほぼ正反対の位置にある画面左中央の中景の樹木で「<」字型に屈曲し、三角形を描いて画面右下隅に至る(＼)。そして、この二本の不等号型構成線(「>」「<」)の重なりにより中心に生まれる菱形(◇)のほぼ中央に、構図の中心点が位置する。

図8も、図5とほぼ同様に、構成線が、画面左上隅からサント・ヴィクトワール山の右側の稜線(＼)に沿って伸び、画面右中央の中景の樹木が生む濃緑の色線に従って「コ」字型に曲折し、弧を描いて画面左下隅に至る(／)。同じく、もう一つの構成線が、画面右上隅から、サント・ヴィクトワール山の左側の稜線(／)に沿って伸び、画面左中央の中景の樹木が生む濃緑の色線に従って「c」字型に湾曲し、弧を描いて画面右下隅に至る(＼)。そして、この二本の真部分集合型構成線(「c」「コ」)の重なりにより中心に生まれる横長の楕円形のほぼ中央に、構図の中心点が存在する。

図6では、サント・ヴィクトワール山の両側の稜線(／＼)と、画面下部の中景の樹木の濃緑の色線(—)が、「△(三角形)」を形作り、そのほぼ中央に構図の中心点がある。同様に、図7では、サント・ヴィクトワール山の両側の稜線(／＼)と、画面下部の中景の樹木等の濃色の色線(＼_／)が、「五角形」を形作り、そのほぼ中央に構図の中心点が位置する。

さらに、図9から図12では、画面を支配する「○」字中の「+」字の交差付近に中心点がある。つまり、図9では、画面全体の彩色部分が生み出す「○」字の中心で、画面中央の中景の樹木の縦線(|)と、その背後の白地の横線(—)が作り出す、「+」字型の構成線のほぼ中央に、構図の中心点が位置する。

図10では、画面全体の濃色部分(画面左端の樹葉、画面上部中央の樹葉、画面右端中央の山稜、画面下辺全体の樹葉)が生み出す「○」字の中心で、画面中央の近景の樹木の縦線(|)と、その背後の鉄道橋の横線(—)が作り出す、「+」字型の構成線のやや上で、その樹木の縦線(|)と、サント・ヴィクトワール山の右側の稜線(＼)から画面下部中央やや右の道路の斜線(＼)へ繋がる構成線が交差する位置に、構図の中心点がある。

図11では、画面中央の近景の樹木の枝葉や根元が生み出す「○」字の中心で、幹枝が逆「卍」型に渦を巻くほぼ中央に、構図の中心点が位置する。図12では、画面全体の緑葉部分が作り出す「○」字の空間内で、画面中央の近景の樹木の幹枝が「*」印的に集まるほぼ中央に、構図の中心点が存在する。

そして、図13では、構成線が、画面右上隅から対岸線の左端に伸び(／)、画面左端で「<」字型に折り返し、此岸の海岸線(＼)に沿って画面右下隅に至る三角形構成の内、対岸線(—)のほぼ中央に、構図の中心点がある。また、図14では、図5とほぼ同様に、構成線が、画面

右上隅から斜めに伸び（／）、画面左中央の三角形の岩影に沿って「<」字型に折れ曲がり、三角形を描いて画面右下隅に至る（＼）。同じく、もう一つの構成線が、画面左上隅から斜めに伸び（＼）、画面右中央の岩肌の濃色の色線に沿って「>」字型に屈曲し、三角形を描いて画面左下隅に至る（／）。そして、この二本の不等号型構成線（「>」「<」）の重なりにより中心に生まれる菱形（◇）のほぼ中央に、構図の中心点となる岩の楕円形の膨らみがある。さらに、図 15 では、画面近景左右の樹木が囲い込む「∩」字型の空間の内、画面近景左の樹木の上端と画面近景右の樹木の下端を結ぶ斜めの構成線（＼）と、中景の家屋が交錯する位置に、構図の中心点が存在する。

そして、図 16 から図 24 では、画面の四隅四方を結ぶ「×」字型の構成線のほぼ中央に、構図の中心点となる点・面・物が存在する。特に、図 23 と図 24 では、左の男性のカードを見る視線（及びパイプ）の斜線（＼）と、右腕の斜線（／）が生み出す「>」字型の構成線と、右の男性のカードを見る視線の斜線（／）と、左腕の斜線（＼）が作り出す「<」字型の構成線が、その中心点を強調している。

これに加えて、図 25 から図 29 では、画面の人物全員の空間配置のほぼ中央に構図の中心点があり、それを人物達の姿勢や器物や布地等が形作る菱形（◇）あるいは円形（○）の構成線が強化している。また、図 30 では、画面中央の女性の右肩の中心点を始点として、その女性の高く掲げて曲げた左手（∧）、その左下に座る女性の右膝（／）、その左に立つ女性とその背後の白い布地の輪郭（<）、天空の白い雲の外縁（∧）、右端の女性の猫背（>）、その左下の水浴する女性の右腕（＼）へと、構成線が螺旋を描いている。さらに、図 31・図 32 では、画面近景左右の樹木の幹の上端と下端を「×」字型に交互に結ぶそのほぼ中央に、構図の中心点が位置する。そして、図 33・図 34 では、人物の体幹のほぼ中央に、構図の中心点が存在する。

とはいえ、こうした構図の中心点は、必ずしもセザンヌの作品全てに見出せる訳ではない。しかし、上記の多数の実例や、既に見た二通の自筆書簡等から、少なくともセザンヌには、構図の中心に何かを置いて画面全体を構成する傾向が存在し、点としての大きさは異なるとしても、それが中心点として機能する絵画作品が実在することは確かな事実として指摘できる。そして、その構図の中心点は、同一の画題や類似した構図を描く場合でも、必ずしも同じ位置に描き込まれるとは限らないことも分かる。

ちなみに、セザンヌがこの構図の中心点をいつから用い始めたかは正確には断定できないが、赤色や白色の小点という手法自体は、最初期の模写作品《ミューズの接吻、フリリエに倣って》（1860年頃）（図 35）の画面左のランプの炎や窓外の星で既に使用されており、この技法が後に趣旨を変えて構図の中心点に転用されたと推定できる。

4. おわりに

もちろん、画面中央に中心点を置くこと自体は、構図を考える画家にとっては、古今東西時代や文化を超えてある意味では一般的な手法である。特に、一点透視遠近法が成立したルネサンス以後の西洋美術においては、むしろ常識的な技法とさえ言える。例えば、レオナルド・ダ・ヴィンチの《最後の晩餐》（1498年）（図 36）のイエスの左のこめかみの穴^[5]や、アンドレア・マンテーニャの《キリストの磔刑》（1457-1459年）（図 37）のキリストの足甲に打たれた釘等を、その実例として挙げられる。また、セザンヌと同時代でも、1862年以來セザンヌと直接親交のあったクロード・モネもまた、1892年から翌年に制作したルーアン大聖堂連作の複数の作品で、画面中央の建物の丸い飾枠内に同様の中心点を描き込んでいる（図 38）。

しかし、ここでより重要な差異は、構図の中心点という同じ技法を用いながら、ルネサンスの画家達が（印象派のモネでさえ）、基本的にはそれを一点透視遠近法の集中点として自然で再現的な客観描写のためにだけ用いているのに対し、セザンヌは、それを自然で再現的な客観描写のためにだけでなく、恣意的・主観的にその一点透視遠近法を歪曲し、対象を変形させ、画中の

構成要素を求心的に呼応させるために用いる場合もまたある問題である（特に、図 1 や図 22）。ここに、セザンヌにおける構図の中心点の独自性を指摘できる。その意味で、こうした構図の中心点の読解は、セザンヌの造形表現の他の様々な様式的特徴を分析するための前提作業としても非常に重要な意義を持っている。

なお、これまでこうしたセザンヌの構図の中心点が注意されなかった原因としては、セザンヌを一点透視遠近法の修正者・超克者と見なす従来の一般的言説が一種の認識的負荷となり、集中点の中心点を探すことを妨げていた可能性を挙げられる。また、こうした微細な小点は、額縁のカバーガラス越しではガラス材の半透明や鏡映のために観察し難く、さらに低解像の複製写真では全く消えてしまうこともその原因になった可能性を指摘できる。そうであるならば、絵画制作におけるセザンヌの構図の中心点は、絵画鑑賞における先入観や画質の諸問題にも極めて重要な考察材料を提供していると主張できる。

文献

本稿中、(V.) は Lionello Venturi, *Cézanne, son art, son œuvre*, 2 vols., Paris, 1936; San Francisco, 1989、(Ori.) は Sandra Orienti, *Tout l'œuvre peint de Cézanne*, Paris, 1975 の図版番号を示す。また、引用は全て既訳を参考にした上での拙訳である。

[1] Paul Cézanne, *Correspondance*, recueillie, annotée et préfacée par John Rewald, Paris, 1937; nouvelle édition révisée et augmentée, Paris, 1978, p. 300. 邦訳、ジョン・リウオールド編『セザンヌの手紙』池上忠治訳、美術公論社、1982年、236 - 237頁。なお、本稿中のセザンヌ書簡の引用は全て、この仏語 1978 年版の自筆書簡集に基づく。

[2] *Ibid.*, pp. 304-305. 邦訳、同前、241頁。

[3] *Ibid.*, p. 315. 邦訳、同前、251頁。

[4] Joachim Gasquet, *Cézanne*, Paris, 1921, p. 35. 邦訳、ガスケ『セザンヌ』與謝野文子訳、岩波文庫、2009年、89頁。

[5] 片桐頼継『レオナルド・ダ・ヴィンチ 復活「最後の晩餐」』小学館、1999年、16 - 19頁。

謝辞

本論文は、筆者が研究代表を務める、平成 22～23 年度京都大学こころの未来研究センター連携研究プロジェクト「近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究」の研究成果の一部です。本稿執筆に当たり、京都大学こころの未来研究センターでご支援を賜りました鎌田東二先生、京都造形芸術大学大学院でご指導を賜りました高階秀爾先生、芳賀徹先生、浅田彰先生、また数多くの有益なご助言を賜りました査読委員の先生に心より感謝申し上げます。

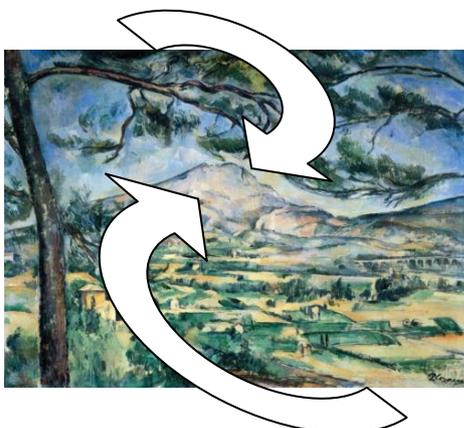


図 1 の構成線例

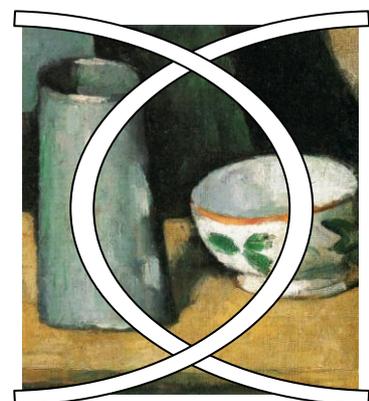


図 22 の構成線例

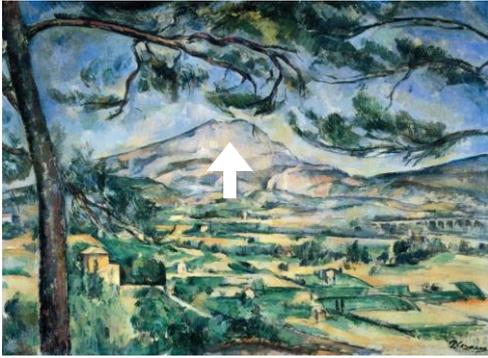


図1 《セント・ヴィクトワール山と大松》
(1887年頃) [V.454]



図2 《アヌシー湖》(1896年) [V. 762]



図3 《アルク溪谷の前の松》
(1883-85年) [V. 913]



図4 《ローヴのアトリエから眺めたエクス
スの大聖堂》(1904-06年) [V. 1077]

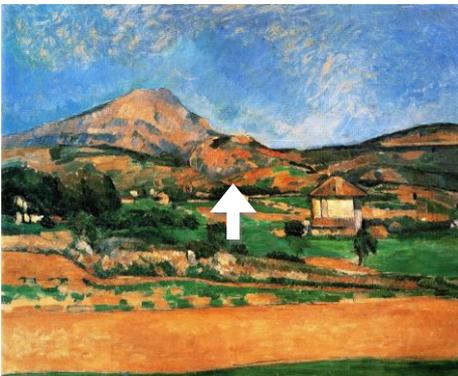


図5 《ヴァルクロ街道から眺めたセント・
ヴィクトワール山》(1878-79年) [V. 423]



図6 《セント・ヴィクトワール山》
(1902-06年) [V. 802]



図8 《セント・ヴィクトワール山》
(1902-06年) [V. 804]

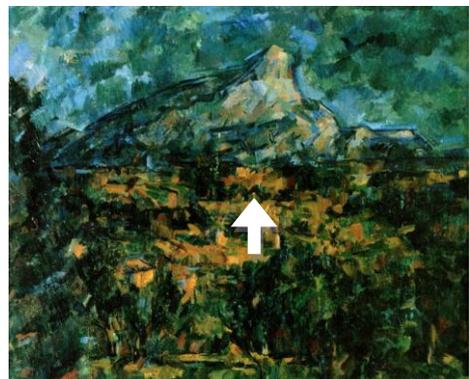


図7 《ローヴから眺めたセント・ヴ
ィクトワール山》(1904-06年) [V. 803]

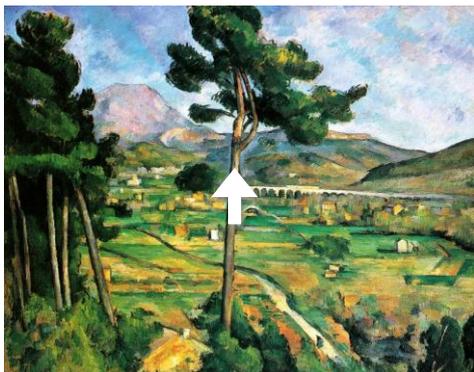


図 10 《ベルヴェユから眺めたサント・ヴィクトワール山》(1882-85年) [V. 452]

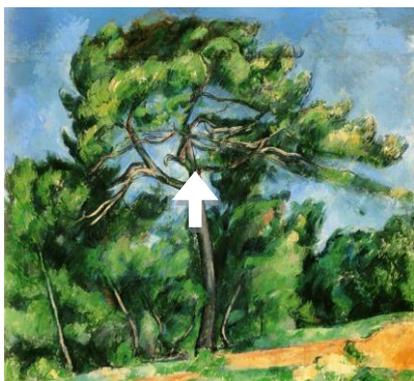


図 11 《大松》(1887-89年) [V. 669]



図 13 《マルセイユの湾岸、エスタックからの眺め》(1885年頃) [V. 429]

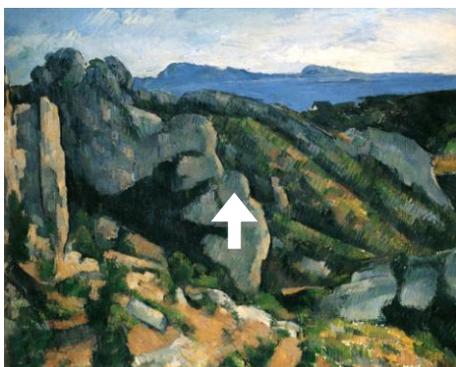


図 14 《エスタックの岩》
(1879-82年) [V. 404]



図 9 《風景》(1888-90年) [V. 482]



図 12 《大松と赤土》(1890-95年) [V. 458]

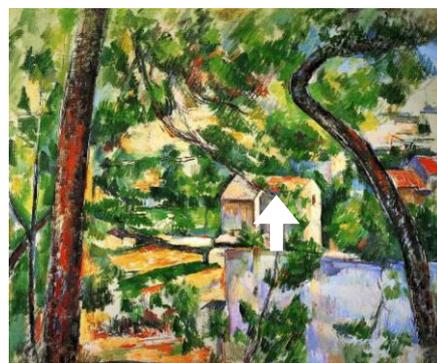


図 15 《歪んだ木》(1888-90年) [V. 420]



図 16 《ジャ・ド・ブッフアン》
(1890-94年) [V. 470]



図 17 《テーブルクロスの上のリンゴ》
(1885 年頃) [V. 510]



図 18 《リンゴとオレンジ》
(1899 年頃) [V. 732]

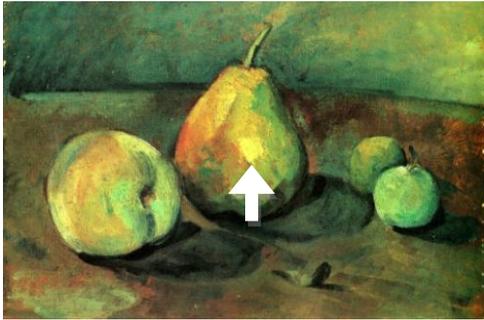


図 19 《静物、ナシと青リンゴ》
(1873-77 年) [Ori. 842]



図 20 《水差しと果物》 (1893-94 年) [V. 500]

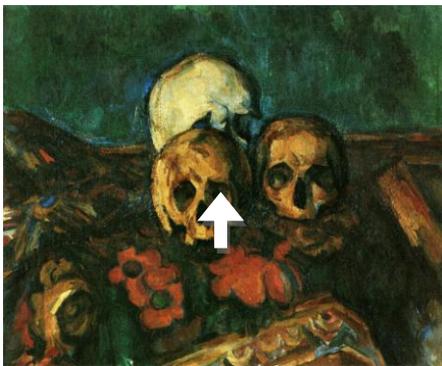


図 21 《東洋の織物の上の三つの頭蓋骨》
(1904 年) [V. 759]



図 22 《お椀と牛乳缶》 (1879 年頃) [V. 220]

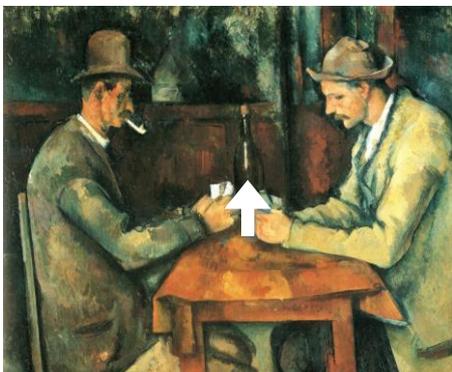


図 23 《カードで遊ぶ男達》
(1893-96 年) [V. 558]

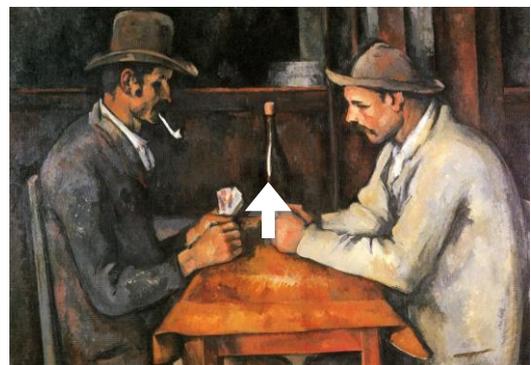


図 24 《カードで遊ぶ男達》
(1892-93 年) [V. 556]

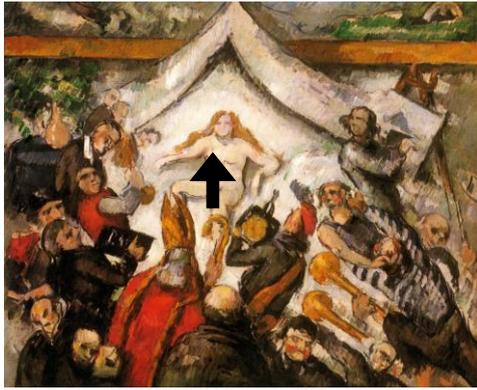


図 25 《永遠の女性》
(1877年頃) [V. 247]



図 26 《近代のオランピア》
(1873-74年) [V. 225]



図 28 《聖アントワーンの誘惑》
(1877年頃) [V. 241]

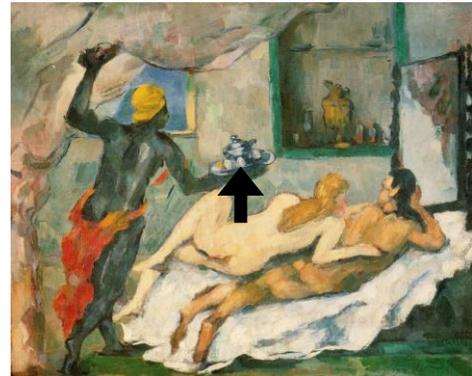


図 27 《ナポリの午後（黒人従者のいる）》
(1876-77年) [V. 224]



図 29 《五人の水浴する女達》
(1877-78年) [V. 385]



図 30 《水浴する女達》
(1875-76年) [V. 265]

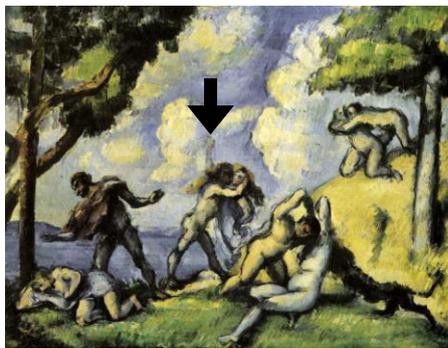


図 31 《愛の闘い I》(1879-80年) [V. 379]

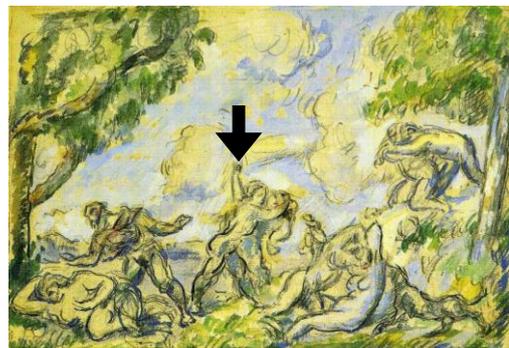


図 32 《愛の闘い》(1875-76年) [V. 897]



図 33
《腕を広げた水浴の男》
(1877-78年)
[V. 549]

図 1 の
拡大図
(部分)



図 34
《座る男》
(1905-06年)
[V. 714]

図 22 の
拡大図
(部分)



図 35
《ミューズの接吻、
フリリエに倣って》
(1860年頃)
[V. 11]

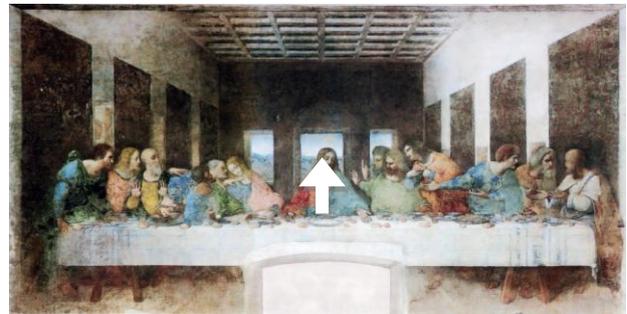


図 36 レオナルド・ダ・ヴィンチ 《最後の晩餐》 (1498年)



図 38 クロード・モネ
《ルーアン大聖堂の正面
とアルバーヌ塔、快晴》
(1893年)

※作者名のない図版は、
全てポール・セザンヌ作。



図 37 アンドレア・マンテーニャ
《キリストの磔刑》 (1457-1459年)

キュビズムとガラス建築——近代技術による心性の変容
Cubism and Glass Architecture
: The Transformation of Mentality Induced by Modern Technology

秋丸 知貴 (美術史家)
Tomoki Akimaru (Art Historian)

(2011年3月18日受付、2011年4月15日受理)

Keywords: Cubism, glass architecture, cantilever construction, glass curtain walls, floating and overlapping images

Abstract: How has glass architecture transformed human mentality? Moreover, how has the transformed mentality influenced Cubism? Several research works such as Walter Gropius's *The Bauhaus Buildings in Dessau* (1930) and *The New Architecture and the Bauhaus* (1935), Sigfried Giedion's *Space, Time and Architecture* (1941), László Moholy-Nagy's *The New Vision* (1928) and *Vision in Motion* (1946), Gyorgy Kepes' *Language of Vision* (1944), and Colin Rowe's *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays* (1976) have addressed the abovementioned questions. However, these works are yet to be categorized and examined in depth. This paper presents a general interpretation of these studies and comprehensively verifies their scope, and then submits some new viewpoints. Glass architecture using cantilever construction and glass curtain walls permits the hovering relations and transparent interpenetrations of glass planes. This transformation of the concept of substance produced by glass architecture is connected to floating and overlapping images in modern paintings such as Cubism. Finally, in order to examine the correlation between glass architecture and Cubism, I analyze artworks such as Walter Gropius's *Bauhaus Buildings in Dessau* (1926) and Pablo Picasso's *L'Arlésienne* (1911-12).

1. はじめに

ガラス建築は、人間の心性をどのように変容したのだろうか？ また、そうしたガラス建築による心性の変容は、キュビズムにどのような影響を与えたのだろうか？

従来、この問題については、様々な論者が多様に論じてきた。しかし、それらの説明は、これまで必ずしも個別的にも全体的にも十分に整理や検討がなされてきた訳ではなかった。そこで、本論文はそれらの先行研究を一貫的・総合的に秩序づけ通観すると共に、その影響の内容についてまだ指摘されていない幾つかの新しい視点を提出する。

2. ガラス建築について

ここで言う「ガラス建築」は、柱や梁に鉄材を用い、壁面や天井にガラス材を多用する建築を指す。

18世紀から19世紀にかけて、冶金技術の発達、蒸気機関の発展と併せて、強度の高い鉄の速やかな大量生産を可能にする。例えば、18世紀前半にはエイブラハム・ダービー父子がコークスによる鑄鉄の量産に乗り出し、1740年にはベンジャミン・ハンツマンが坩堝鋼の生産に

踏み出し、1784年にはヘンリー・コートが錬鉄を生産するパドル法を生み出し、1856年にはヘンリー・ベッセマーが鋼鉄を生産するベッセマー法を編み出している。また、1765年にはジェームズ・ワットが蒸気機関を完成し、1776年にはジョン・ウィルキンソンが蒸気機関による高炉の衝風装置を考え出し、1839年にはジェームズ・ナスミスが蒸気機関を動力に用いて金属加工を行う蒸気ハンマーを考案している。さらに、ガラス技術においても、1790年にはニコラ・ルブランがソーダ灰の製造法（ルブラン法）を発案し、1830年代には手吹円筒法が普及し、1857年にはジメンス兄弟が蓄熱式加熱法（ジメンス法）を創案する等、板ガラスも透明化・大型化と共に速やかな量産化が進む。

こうして生産力の向上した鉄とガラスは、まずパサージュや博覧会場や鉄道駅等の公共建築に導入される。その画期的な事例が、1851年の第1回ロンドン万国博覧会の展示館クリスタル・パレス（水晶宮）である（図1）。従来の石造建築や木造建築では、側壁は、屋根や側壁自体の荷重を支えるために堅固で重厚でなければならなかった。これに対し、クリスタル・パレスでは、鉄骨が建物全体の荷重を支えるために、側壁が支持体の役割から解放され、鉄骨と鉄骨の間に強度の低い板ガラスを壁面として張り巡らせることが可能になる。

このクリスタル・パレスの成功により、ガラス建築の有用性と審美性が一般に広く認識され、以後徐々に建築素材の主役は、石材と木材から鉄材とガラス材へ移行して行く。これに、1867年のジョセフ・モニエによる鉄筋コンクリートの実用化が加わり、ガラス建築はさらに構造上の強度と自由度を増す。そしてガラス建築は、20世紀に入り、ガラス材を多用する近代建築家、例えばペーター・ベーレンス（図2）、ブルーノ・タウト（図3）、ベーレンス門下のヴァルター・グロピウス（図4・図5・図6・図7・図8）、ミース・ファン・デル・ローエ（図9）、ル・コルビュジエ（図10）等により一層洗練され、次第に公共建築から一般家屋にも普及することになる。

こうしたガラス建築の発達過程について、バウハウスの創設者で初代校長であるヴァルター・グロピウスは、『新建築とバウハウス』（1935年）で次のように言っている。「私達の新しい技術能力は、堅固で重厚な石造部分を細長い橋脚へ分解することを促進し、嵩張り、空間、重量、輸送において大幅な節約をもたらしている。新しい建築素材——鋼鉄、コンクリート、ガラス——は、伝統的な建築素材に精力的に取って代わっている。その強度と分子密度は、過去の技術では明らかに不可能であった、大径間とほぼ透明な構造を建てることを可能にした。この構造容積における莫大な節約は、それ自身一つの建築革命であった[1]」。

また、グロピウスは同著で、ガラス建築の性格について次のように述べている。「新しい構造技術の傑出した達成の一つは、側壁の分断機能の撤廃である。煉瓦建築のように側壁を支持体として用いる代りに、今日の新しい空間節約構成は、構造の全荷重を鋼鉄やコンクリートの骨格に乗せる。従って側壁の役割は、防雨、防寒、防音のためにその骨格の直立する柱と柱の間に広げられた、単なるスクリーンに限定される。重量や嵩張りをより一層節約するために、今や支持体ではないこれらの単なる仕切壁は、軽量の軽石コンクリート、炭殻コンクリート、その他の信頼できる合成コンクリートから成り、空洞ブロックや薄板の形式で出来ている。鋼鉄とコンクリートの複合的な技術革新や、抗張力や耐圧力のより精密な計算は、支持体の占有面積を着実に減少させている。このことは当然、今度は壁面の開口部を徐々に大胆に（つまり幅広く）するように導き、それにより部屋はさらに一層明るくなる。それゆえ、古式の窓——分厚い支持側壁に穿たれねばならなかった一つの穴——が、『新建築』の特徴である、細い鋼鉄の窓枠で区分された水平に連続する開き窓に次第に道を譲らねばならないのは、理の当然である。そして、壁体に対する空所の優勢が増大することの直接的結果として、ガラスは非常に大きな構造的重要性を帯びることになる。その輝く非実体性と、壁と壁の間に漂う空気のように捉えどころのない外見は、今日の近代家屋に軽快な調子を付与する[2]」。

これと同様に、グロピウスは『デッサウのバウハウス建築』（1930年）でも、ガラス建築の

発展過程について次のように語っている。「造形の仕事の世界では、工業的に加工された新しい建築素材が、昔の自然な建築素材と競争するようになり、それを追い越し始めている。この新しい建築素材——鉄、コンクリート、ガラス——は、その強度と分子密度により、構成のための量塊を大いに節約し、過去の建築素材や技術では構成できないような、外光の流れ込む広大な部屋と建物を建てることを初めて可能にした。この鉄とコンクリートにより、益々大胆になり、空間を節約するようになっている構成は、意識的な目的として、建築の支持体を物質強度の精密計算と品質向上を通じて空間的に益々限定し、側壁と屋根の開口部を絶えず拡大し続け、屋内は天候からは遮蔽的に保護されているけれども日光は遮断されずに流入する結果を招く。小さな開口部しかない重厚で堅固な側壁と閉鎖的な屋根による昔の建物の外壁は、今や出来るだけ少なくより細い支柱や支持体による骨格構造の間の幅広な窓面と開放的な屋根という、逆の原理に道を譲っている[3]」。

また、グロピウスは同著で、ガラス建築の特徴について次のように話している。「近代的な施工法の発展において、近代的な建築素材としてのガラスは、正に拡大し続ける開口部のために本質的な役割を演じるだろう。ガラスの利用は限界が無く、窓に限定もされないだろう。なぜなら、その上品な性質、透明な清明さ、軽く浮遊するような非実体的な物質性が、近代建築家に愛されているからである[4]」。

さらに、グロピウスは同著で、自作のガラス建築《デッサウのバウハウス校舎》(1926年)の図版(図8)を次のように注している。ここでは、同じガラス建築の中でも、クリスタル・パレスのような旧式の支柱鉄骨間ガラス壁ではなく、新式のキャンティレバー(片持ち梁)構造によるガラス・カーテンウォールが説明されている点が大事である。「工房棟の隅角は、コンクリート柱と頑丈な天井の骨格構造をはっきり認識させる。ここで初めて側壁の解消という問題が、支持する骨格の前にガラス・スクリーンを張り渡すことを通じて徹底的に追求された[5]」。

こうした新式のガラス建築について、CIAM(近代建築国際会議)におけるグロピウスの盟友である、建築史家ジークフリート・ギーディオンは『空間・時間・建築』(1941年)で、グロピウス設計の《ファグス工場》(1911年)の図版(図4)を次のように注している。「この工場では、平坦な表面が際立っている。ガラスと鉄による壁面同士が、支柱を介在させずに隅角ですっきり結合されている。ベーレンスの有名なタービン工場(図2)は、ガラス壁の左右を荘重な巨石積みで枠付けていた。この枠付けは、グロピウスでは姿を消している。グロピウスの壁面は、もはや建物の支持体ではなく、悪天候を防ぐ単なるカーテンであることを示している[6]」。

そして、ギーディオンは同著で、同じ《ファグス工場》について次のように注解している。「鉄とガラスとコンクリートの新しい可能性、壁面のよりすっきりした処理、内部の組織的照明、これらが明らかに考え抜かれた調和の中に込められている。単に構成として見れば、この建物は19世紀後半のエッフェルの鉄骨構造に遡る伝統に属している。しかしながら、その時代を特徴付けていた二元性は克服されて、建築的手段と構造的手段は同等に統一的表现に貢献している。側壁は、平面として発展させられ、内部空間と外部空間の間の透明なカーテンとして考えられている。[...] そのカーテンとしての性格が十分に実現されるように、支柱はその壁面の背後に置かれている。様々な建築の量感を自由に並置するその手法が、1925年のデッサウのバウハウス校舎の構想を予示していることは否定できない[7]」。

元々、クリスタル・パレスに代表される、支柱鉄骨間ガラス壁による旧式のガラス建築も、既に側壁を支持機能から解放し、支柱の鉄骨を細軸化しつつ壁面に透明ガラスを用いることで、壁面外観において、重厚な側壁を持つ石造建築・木造建築とは比較にならない脱物質的な軽快感を発生させていた。

これに加えて、こうした《デッサウのバウハウス校舎》に結実される、キャンティレバー構造とガラス・カーテンウォールによる新式のガラス建築は、さらに隅角の支柱を建物内部に後

退させ、ガラス壁面同士を連続して接合したり、結合部材をより細小化したりすることで（例えば、ル・コルビュジエ《サヴォア邸》（図 10）の隅角はまだ僅かに結合部材を残しているが、もはや支持体としての役割は失っている）、壁面外観において、旧式のガラス建築よりもさらに一層非実体的な浮遊感を現出させる。

そして、旧式・新式に関わらず、ガラス建築の普及は、壁面外観において、透明ガラスによる相互浸透的・同時性的な視覚現象を次第に日常風景化することになる。

3. ガラス建築による心性の変容

それでは、そうしたガラス建築による心性の変容は具体的にはどのようなものであろうか？
まず、ガラス建築の壁面外観における非実体的浮遊感の問題から見てみよう。

この問題について、ヴァルター・グロピウスのバウハウス時代の同僚であるラズロ・モホリ＝ナギは、『運動における視覚』（1946年）で、「開口部の発展こそ——他のどの要素よりも——堅固な量塊から明るく軽やかな構成へという建築的变化の要因であった[8]」とし、ガラス建築について次のように書いている。ここでは、旧式・新式共にガラス建築が、そのガラス材の透明的脱物質性により、薄く透き通る軽いシャボン玉に喩えられている点に注意したい。「堅固な建築から透明な建築への変容は、透明な板ガラス窓の発展によりさらに促進された。それが剥き出しの鉄骨と結合すると、透明な建物を建てられるようになる。その始まりが、温室や、世界的に有名なロンドンのクリスタル・パレス（1851年）（図 1）であった。グロピウスによるドイツ工作連盟展の建物（ケルン、1914年）の透明な階段室（図 5）は、そうした工業的使用原理の翻案であり、後にこれと同式の透明性が、ミース・ファン・デル・ローエの設計案（1922年）（図 9）のように、摩天楼に提案される。もし彼の提案がいつか実現されるならば、パンテオンの重厚で堅固な量塊からの離脱をはっきりと示しながら、透明な構成が一つの巨大なシャボン玉として出現するだろう[9]」。

また、ジークフリート・ギーディオンは『空間・時間・建築』で、グロピウスの《デッサウのバウハウス校舎》について次のように記している。ここではまず、ガラス材自体の透明的脱物質性による浮遊感が教示されていることに留意したい。「バウハウスの建築複合体は、様々な立方体の配列、つまり寸法も材料も位置も異なる立方体を相互に並置した配列である。その意図は、それらの立方体を大地に縛り付けるのではなく、その場所の上に浮遊させることである。そのために、翼のような連絡橋が設けられ、ガラスが自由に用いられる。ガラスは、その脱物質的性質のために用いられたのである[10]」。

さらに、ギーディオンは同著で、その《デッサウのバウハウス校舎》の図版（図 8）について次のように綴っている。ここでは特に、支柱が壁面から後退して屋内に隠れるキャンティレバー構造と、ガラス面とガラス面が隅角で直接連続するガラス・カーテンウォールによる、新式のガラス建築では、ガラス壁面の非実体的浮遊感が一層増加して見えることが強調されている点が大切である。「そのガラスのカーテンは、かつてエッフェルが 1878 年万博で用いた区切られ区画された透明領域ではなく、滑らかに建物の周囲を巡り、隅角では垂直な支柱や支持体を全く示していない。ファグス工場と同様に、ガラスを掛け下ろしている支柱はガラス面の背後に後退しており、このカーテンを純粋なキャンティレバー構造の実例にしている。ガラスのカーテンは、単に建物の隅角で折り返されているだけである。換言すれば、人間の目が建物の荷重を担う支柱に出会うことを期待する丁度その地点で、ガラス面は相互に融合しているのである[11]」。

次に、ガラス建築の壁面外観における相互浸透的・同時性問題について見てみよう。

この問題について、モホリ＝ナギは『新しい視覚〔独語版「材料から建築へ」〕』（1929年）で、ガラス建築について次のように説いている。ここでは、壁面に透明ガラスを用いることに

よる、屋内と屋外の透視的な相互浸透が説明されている点に注目したい。『空間の断片』が、細長い部材、細長い鉄、ガラスのネットワークにより、まるで空間が分割可能な固形物体であるかのように、宇宙空間から切り取られる。新建築は、外部空間との完全な相互浸透の内にある[12]」。

また、モホリ＝ナギは同著で、ガラス建築について次のように論じている。ここでは、ガラス面に周囲の事物が映り込むことによる、建物と環境の鏡映的な相互浸透が解説されている点に着目したい。「樹木に囲まれた大きなガラス窓のある白い家は、太陽に照射されるとほとんど透明になる。白壁は、樹木の影を多様化する投影スクリーンとして作用し、ガラス面は樹木を反映する鏡になる。完全な擬態がもたらされる[13]」。

さらに、モホリ＝ナギは同著で、グロピウスの《デッサウのバウハウス校舎》の図版（図7）を次のように読み解いている。ここでは、壁面に透明ガラスを用いることによる屋内と屋外の透視的な相互浸透と、そのガラス面に周囲の事物が映り込むことによる建物と環境の鏡映的な相互浸透の両方が言及されている点が重要である。「内側と外側の浸透が、窓の鏡映において保証される。内部と外部を隔てておくことは、もはや不可能である。従来『外部』全てを遮断していた側壁の量塊は、今や解消され周囲を建物の内へ流入させている[14]」。

これを受けて、バウハウスにおけるモホリ＝ナギの同僚であるギオルギー・ケペッシュは、『視覚言語』（1944年）で、ガラス建築の特性を次のように読解している。ここでも、屋内と屋外の透視的な相互浸透と、建物と環境の鏡映的な相互浸透の両方が論及されている点が肝要である。「近代建築は、出来る限り最大の空間的見通しを総合するデザインを創造するために、合成素材、ガラス、プラスチック等の透明な性質を利用している。内側と外側が緊密に関係付けられ、建物内ではどの視点にも空間の最も広大な視覚的理解が与えられる。反射や鏡映、透明や半透明の建築素材が、拡散する空間的見通しを一つの視覚的把握に統合するために注意深く計算され構成されている[15]」。

このように、ガラス建築は、古来の石造建築・木造建築における重厚的・実体的な物質概念・空間概念を変容し、壁面外観における脱物質的軽快感を招来する。また、ガラス建築の中でも、特に新式のガラス建築は、さらに支柱をガラス面から分離させて背後に隠すことで、ガラス面の非実体的浮遊感を一層推進する。そして、ガラス建築は、旧式・新式に関わらず、透明ガラスによる前面像と後面像や透過像と鏡映像の相互浸透的同時性を導入する。

ここで注視すべきは、そうした近代的なガラス建築による心性の変容が、近代絵画におけるキュビズム的造形表現の視覚効果と非常に類似している事実である。

4. キュビズムとガラス建築

まず、ギオルギー・ケペッシュは『視覚言語』で、近代絵画一般とガラス建築の呼応について次のように告げている。ここでは、旧式の鉄骨構造や新式のキャンティレバー構造による構造力学の意識化や、透明ガラスによる相互浸透的視覚現象の絵画表現への影響が示唆されている。なお、この場合の相互浸透的視覚現象には、既にケペッシュが「反射や鏡映」に言及している以上、前面像と後面像のみならず透過像と鏡映像も含まれる可能性がある。「建築における鉄骨やガラス壁等の近代的素材の一般的使用は、画家達により強く靈感を与えた。構成に軽快さを与え内部空間の流動性を高める大径間構造、建築の空間力学を明瞭に理解させる新しい荷重・支持の関係、これらが刺激剤として作用した。建築において、堅固な壁体の代わりに、開放的な透明の表面が用いられると、絵画においても同様に、不透明な画面の代わりに、面の透明な相互浸透や、線の疎らな構成が現れてくる。線の疎らなネットワークは、空間内の様々な方向を指示し、そして一種の視覚的キャンティレバー構造——動的空間構成が達成される[16]」。

また、その交流関係の近さと出版年の前後関係から推察して、おそらくこのケペッシュの見解に影響を与えたであろう、ジークフリート・ギーディオンの『空間・時間・建築』は、グロ

ピウスの《デッサウのバウハウス校舎》の図版（図 8）を次のように分析している。ここでは、キャンティレバー構造とガラス・カーテンウォールによる新式のガラス建築では、ガラス壁面の非実体的浮遊感が一層増大して見えることに加え、ガラス壁面における前面像と後面像の相互浸透の同時性と、近代絵画における面表現の相互浸透の同時性（文脈上おそらくその非実体的浮遊性も含む）の対応が指摘されている。「この工房棟の隅角では、建物の内部と外部が同時に提示されている。広大な透明領域は、隅角を脱物質化することにより、面と面の浮遊的な関係や、近代絵画に見られるある種の『オーヴァーラッピング』をもたらしている[17]」。

その上で、ギーディオンは同著で、キュビズムとガラス建築の相応を次のように喝破している。ここでも、新式のガラス建築におけるガラス壁面の非実体的浮遊感と共に、前面像と後面像の相互浸透の同時性と、キュビズムにおける面表現の相互浸透の同時性（やはりおそらくその非実体的浮遊性も含む）の照応も力説されている（ただし、図版は別として、文章からは透過像と鏡映像の相互浸透の同時性についての問題意識は余り窺われない）。「ここでは、工学上の無意識的な進歩の産物としてではなく、芸術家の意識的な目的の実現として、近代建築の二つの主要な試みが実行されている。それは、空間関係に対する私達の感情を満足させる、浮遊するような垂直面の集合と、内部と外部を、つまりピカソの《アルルの女》（1911-12年）（図 11）のように、正面と側面を、同時に見ることを可能にする広大な透明性である。すなわち、提示される位相や位置の多様性と同時性——要するに、空間＝時間の概念である[18]」。

これらを受けて、建築史家コーリン・ロウは「透明性——虚と実」（1963年）で、キュビズムとガラス建築の相似を次のように考察している。「ギオルギー・ケペッシュは、私達がブラックやグリスマやレジェの作品で注目した現象にほとんど古典的な説明を与えたが、その虚の透明性の建築的な類似物は、ガラスやプラスチックの物質的性質に見出されるに違いないと考え、キュビズムやキュビズム以後の注意深く計算された構成の等価物は、半透明な表面や磨かれた表面で演じられる光の偶然の反射により生まれる偶発的な二重写しに発見されるだろうと考えていたようである。また同様に、ジークフリート・ギーディオンも、『広大な透明領域』を持つバウハウス校舎の全面ガラス壁面の外観は、『面と面の浮遊的な関係や、近代絵画に見られるある種の「オーヴァーラッピング」』をもたらすと考えていたようである[19]」。

そして、ロウは同著で、キュビズムとガラス建築の応答を次のように洞察している。「ピカソの《アルルの女》（図 11）は、こうしたギーディオンの推論に視覚的証拠を与える絵画であるが、そうした重なり合う（オーヴァーラッピングする）面と面の透明性が非常に明白に見出される。ここでピカソは、外見上セルロイドのような複数の面を提示し、それらの面を通じて鑑賞者は視覚的な感興を覚える。そして、その場合の彼の感興が、バウハウスの工房棟を見る場合の感興と幾分相通じることは疑いない。どちらの場合にも、素材の透明性が認められる[20]」。

むろん、ロウが同著で補足するように、同じ透明性とはいえ、建築における三次元的空間を前提とする実的透明性と、三次元的奥行とは矛盾する絵画において表現可能な虚的透明性の差異は、考慮しなければならない。また、一言にキュビズムと言っても、そこで表現される透明性には、ロウの言う実的要素と虚的要素のどちらも観取できることも留保する必要がある。

それでもなお、ガラス建築は、旧式・新式を問わず、ガラス面の透光や反射を通じて、建物内外の境界を透視的にも鏡映的にも曖昧化すると共に、前面像と後面像や透過像と鏡映像の二重あるいは多重写しを普通化する。そして、そうした近代建築における相互浸透的・同時的な視覚現象が、近代絵画におけるキュビズム等の相互浸透的・同時的な造形表現と親和的であることは確かである。

例えば、パブロ・ピカソ《アルルの女》（1911-12年）（図 11）、ジョルジュ・ブラック《ポルトガル人》（1911年）（図 12）、ホアン・グリスマ《静物》（1912年）（図 13）、ロベール・ドロローネー《都市の同時的な窓》（1912年）（図 14）、エル・リシツキー《P. V. N. プロウン》（1923

年) (図 15)、ラズロ・モホリ＝ナギ《K VII》(1922 年) (図 16)、ラズロ・モホリ＝ナギ《コンポジション ZVIII》(1924 年) (図 17) では、描かれた対象はそれぞれ抽象的・幾何学的に平板化すると共に、浮遊的に奥行を曖昧化したり相互貫入したりしている。特に、モホリ＝ナギの透明的多重造形には、彼自身がガラス建築における透明ガラスによる相互浸透現象を解説している分だけ、その心性の変容が反映している蓋然性が高い。

さらに、ガラス建築では、そうした透明ガラスによる相互浸透の同時性ばかりではなく、旧式・新式を問わず、透明ガラスによる脱物質的軽快感が顕著である。特に、ギーディオが論述している、新式ガラス建築における、隅角における支柱や支持体の不在により増強されるガラス壁面の透明物質的・無荷重的な非実体的浮遊感が、キュビズム等の自律的に浮遊する面表現と親縁性を持つことはもっと評価されて良い。そして、ケペッシュが考述している、ガラス建築において覚知される、旧式の鉄骨構造や新式のキャンティレバー構造の構造力学的・荷重集約的な抽象性が、キュビズム等の自立的に凝縮する抽象的な線表現と類縁性を持つことももっと評述されて良い。

これに加えて、さらに本稿は、これまでの先行研究では誰からも明確には詳述されなかったが、旧式ガラス建築における支柱鉄骨間ガラス壁による、細い支柱の規則的・軽快的な抽象性や、新式ガラス建築におけるキャンティレバー構造のガラス・カーテンウォールによる、細い窓枠の規則的・無荷重的な抽象性が、キュビズム等の自律的に漂揺する幾何学的な線表現と非常に相関的であることを指摘したい。

5. おわりに

以上のように、ガラス建築は、人間に様々な心性の変容を発生させる。そして、そうした近代的なガラス建築による心性の変容は、近代的なキュビズムの絵画表現と非常に近似的である。

もちろん、改めて強調するまでもなく、絵画表現の成立を唯一つの要因だけに機械的・決定論的に還元することは出来ない。実際に、上記の五人の論者達も全員、ガラス建築のみがキュビズムの造形表現に影響を与えたと限定する単一要因説は取っていない。

しかし、それでもなお、そうした先行研究と同様に、他にも複数ある様々な要因の一つとして、例えば既に広く指摘されている要因である、一点透視遠近法に基づかないアフリカ彫刻の錯綜的抽象造形や、事物の外部と内部を同時に可視化するX線の透視現象や、事物の外観を相互浸透的に表出する写真の多重露光現象や、事象の時間と空間を自由に編集する映画の四次元的映像現象等と共に、キュビズム的絵画表現に、同時代に台頭した新しい視覚的現実であるガラス建築による心性の変容の反映を推定することは可能である。すなわち、まずキュビズム等の浮遊的多重抽象造形には、旧式ガラス建築における支柱鉄骨間ガラス壁や、新式ガラス建築におけるキャンティレバー構造のガラス・カーテンウォールによる、面と線の浮遊的抽象性や相互浸透の同時性の視覚表象が影響を与えた可能性を指摘できる。

これに加えて、ガラス建築が一般社会に浸透するにつれて、側壁の脱支持体化と壁面の透明ガラス化による軽快で脱物質的な建築概念が人々の日常生活に浸潤し、より開放的で相互浸透的な生活空間を欲求する心性が幅広く涵養されたことは歴史的事実である。そうであれば、重厚で実体的な形態・色彩に固執する旧来の写実的なアカデミズムの絵画表現が、徐々に時代遅れと敬遠される一方、キュビズムを始めとする浮遊的多重抽象造形が、次第に広く人々に新しい環境適合的な造形表現として歓迎され、新たに普遍妥当的な芸術表現として奨励される時代が現実に到来したことも間違いない。そして、こうした新しい解放的で同時的な空間概念の影響は、ガラス建築からキュビズム等への一方通行的なものではなく、キュビズム等からガラス建築への反映も含む相互作用的なものと推定される。

本稿は、改めて、こうした直接的・間接的及び多様かつ複層的な様相においてこそ、ガラス建築はキュビズム的造形表現に影響を与えた可能性が高いと主張したい。

文献

引用は全て、既訳を参考にした上での拙訳である。

- [1] Walter Gropius, *The New Architecture and the Bauhaus*, London, 1935; MIT Press, 1965, p. 25.
- [2] *Ibid.*, pp. 25-26.
- [3] Walter Gropius, *Bauhausbauten Dessau*, München, 1930, p. 37. 邦訳、ヴァルター・グロピウス『デッサウのバウハウス建築』利光功訳、中央公論美術出版、1995年、37頁。
- [4] *Ibid.*, p. 49. 邦訳、同前、49頁。
- [5] *Ibid.*, p. 47. 邦訳、同前、47頁。
- [6] Sigfried Giedion, *Space, Time and Architecture: The Growth of a New Tradition*, Harvard University Press, 1941; 14th printing, 2002, p. 482. 邦訳、ジークフリート・ギーディオン『空間・時間・建築 (2)』太田實訳、丸善、1995年、514頁。
- [7] *Ibid.*, pp. 483-484. 邦訳、同前、515頁。
- [8] László Moholy-Nagy, *Vision in Motion*, Chicago, 1946; 7th printing, 1965, p. 102. 邦訳、L・モホリ＝ナジ「ヴィジョン・イン・モーション (9)」『SD (第206号)』阿部公正訳、鹿島出版会、1981年11月号、88頁。
- [9] *Ibid.*, p. 103. 邦訳、同前、88-91頁。
- [10] Giedion, *op. cit.*, p. 496. 邦訳、ギーディオン、前掲書、525頁。
- [11] *Ibid.*, p. 493. 邦訳、同前、524頁。
- [12] László Moholy-Nagy, *The New Vision*, New York, 1928; The Dover edition, *The New Vision: Fundamentals of Bauhaus Design, Painting, Sculpture, and Architecture with Abstract of an Artist*, New York, 2005, p. 190. 邦訳、L・モホリ＝ナジ『ザ ニュー ヴィジョン』大森忠行訳、ダヴィッド社、1967年、128頁。
- [13] *Ibid.*, p. 198. 邦訳、同前、139頁。
- [14] *Ibid.*, p. 191. 邦訳、同前、136頁。
- [15] Gyorgy Kepes, *Language of Vision*, Chicago, 1944; The Dover edition, New York, 1995, p. 79. 邦訳、ギオルギー・ケペッシュ『視覚言語』グラフィック社編集部訳、グラフィック社、1973年、71頁。
- [16] *Ibid.*, p. 117. 邦訳、同前、105頁。
- [17] Giedion, *op. cit.*, p. 495. 邦訳、ギーディオン、前掲書、527頁。
- [18] *Ibid.*, p. 493. 邦訳、同前、524頁。
- [19] Colin Rowe, "Transparency: Literal and Phenomenal" (1963), in *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, MIT Press, 1976, p. 166. 邦訳、コーリン・ロウ「透明性—一虚と実」『マニエリスムと近代建築』伊藤豊雄・松永安光訳、彰国社、1981年、216頁。
- [20] *Ibid.*, pp. 166-167. 邦訳、同前、216-217頁。

附記

本稿執筆に当たり、ご支援を頂きました鎌田東二京都大学こころの未来研究センター教授と、数多くの有益なご助言を賜りました査読委員の先生に心より感謝申し上げます。

また本稿は、筆者が研究代表を務める、2010年～2011年度京都大学こころの未来研究センター連携研究プロジェクト「近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究」の研究成果の一部です。同研究プロジェクトの概要については、次の拙稿をご参照下さい。秋丸知貴「近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究」『こころの未来』第5号、京都大学こころの未来研究センター、2010年、14-15頁。

(http://kokoro.kyoto-u.ac.jp/jp/kokoronomirai/pdf/vol5/Kokoro_no_mirai_5_02_02.pdf)



図1 ジョセフ・パクストン
《クリスタル・パレス》1851年

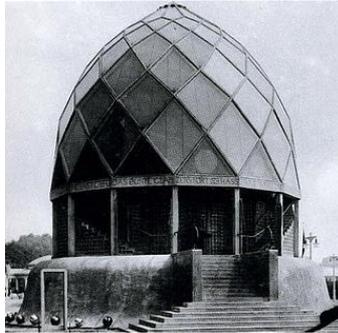


図3 ブルーノ・タウト
《ガラス・パヴィリオン》1914年



図2 ペーター・ベーレンス
《AEG タービン工場》1909年

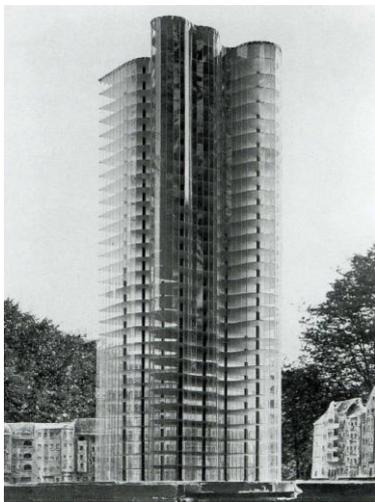


図9 ミース・ファン・デル・ローエ
《ガラスの摩天楼案》1922年



図10 ル・コルビュジエ
《サヴォア邸》1931年



図5 ヴァルター・グロピウス
《ドイツ工作連盟展の事務所建築》1914年

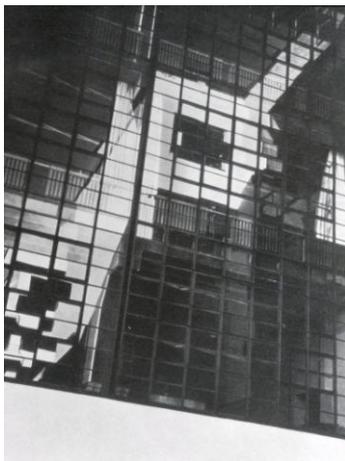


図7 ヴァルター・グロピウス
《デッサウのパウハウス校舎》1926年

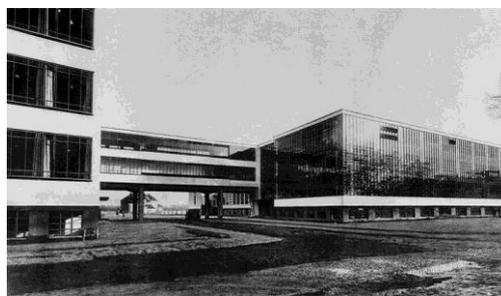


図6 ヴァルター・グロピウス
《デッサウのパウハウス校舎》1926年



図4 ヴァルター・グロピウス
《ファグス工場》1911年

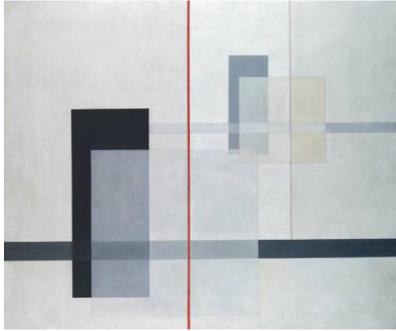


図 16 ラズロ・モホリ=ナギ
《K VII》1922年

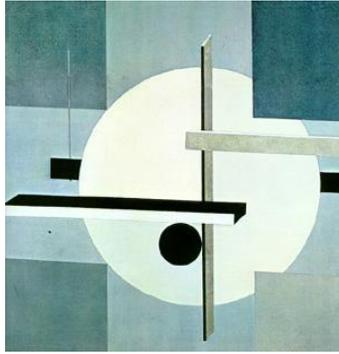


図 15 エル・リシツキー
《P. V. N. プロウン》1923年



図 17 ラズロ・モホリ=ナギ
《コンポジション ZVIII》1924年



図 13 ホアン・グリス
《静物》1912年



図 12 ジョルジュ・ブラック
《ポルトガル人》1911年

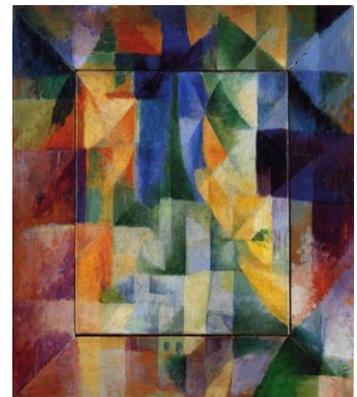


図 14 ロベール・ドローネー
《都市の同時的な窓》1912年



図 11 パブロ・ピカソ
《アルルの女》1911-12年

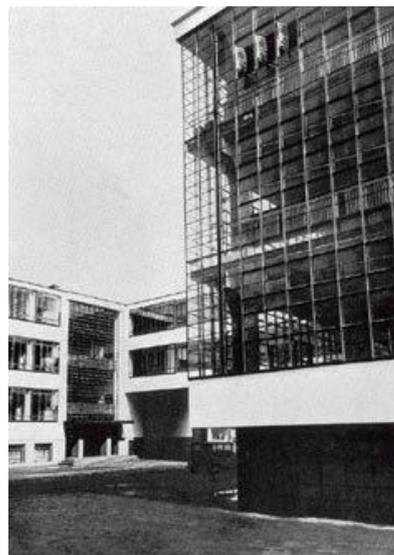


図 8 ヴァルター・グロピウス
《デッサウのパウハウス校舎》1926年

3Dソフトで設計した今風ペーパークラフト

田中 正彦

兵庫大学 経済情報学部, 加古川市平岡町新在家 2301

masahiko@hyogo-dai.ac.jp

<http://ei-www.hyogo-dai.ac.jp/~masahiko/>

Modern interpretation of paper craft designed by using 3DCG

Masahiko TANAKA (Hyogo Univ.)

1. はじめに

3次元CGを利用してペーパークラフトの設計を行い、作品の製作を行っている。設計製作は、3次元CGによる立体形状のモデリング、立体形状に対応する展開図の作成、展開図への着色、印刷、組み立てと多数の工程からなる。作品の完成度を高めるには1つの工程についても何度かの試行と評価の繰り返しが必要であり、場合によっては複数の工程をまたいでの試行が行われる場合もある。モデリングや展開図作成のためのソフトウェアが利用でき作業が楽になったとは言え、設計と製作には技術と時間を要する。

今回、学生に原型となる形状とその展開図を与えて、これをもとに製作を行わせたところ、多くの作品を効率よく作成できたのでこれを報告する。

2. 原型の配布

配布したのは3.5頭身の少女型の形状である。組み立てやすさを考え服装はスカートとした。形状は髪、左右の足、胴の4つの連結部分に分かれている。胴の部分には頭、手、スカートが繋がっている。面の総数は248である。形状を図1に示す。

展開図は実際の形状と対応しやすいよう髪、顔、手、足、上半身、スカートの8つの部品に分割した。腕、足は貼り付け方を変えることができる。腕は肩の接着部分の形を正方形とし、90度単位で回転して取り付け可能とした。前、下、上の3方向のポーズが可能である。足はスカートの内側に自由な角度で貼り付けることができる。どの部品にも開口部を設けることで組み立てやすくしている。組み立ては開口部で終わるように順に糊付けを行なう。スカートの端以外の開口部は他の部品で見えなくなる位置にある。足にはつま先とかかとのりしろがあり、これを用いて台紙に固定する。

展開図全体をA4用紙1枚に印刷した場合、完成形は高さ約11cmとなる。図2に完成形の例を示す。原型のままの展開図に着色を行い組み立てたものである。

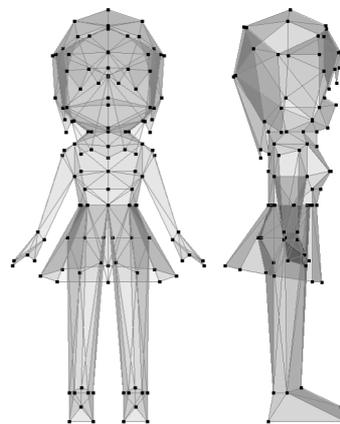


図1:原型の形状



図2:完成例

3. 作品例

顔や服などを展開図に描き込むだけでも、さまざまな作品を作る

ことができる。襟、袖、靴などは実際には身体から少し離れているが、該当する位置に直接描いても十分表現できる。図2の例では、スカートにエプロンを、足に靴を直接描いている。他に髪留め、リボン、ボタン、ポケット、ネクタイ、ベルト、服やスカートの模様を描いたものがあった。

形の修正はモデリングの工程から行うのが通常の方法であるが、形状を理解していれば展開図を直接修正することも可能である。髪型を修正した例を図3に示す。張り合わせる部分はそのままに、髪のふちに当たる部分に手を加えてある。髪は組み立て時にカールさせるなどの加工も可能である。また、髪を長めにした展開図を組み立て、完成後に切ることで髪型を表現している作品も見られた。図4はスカートの展開図に手を加えた例である。長さの異なるスカートを2枚重ねて効果を上げている作品もあった。

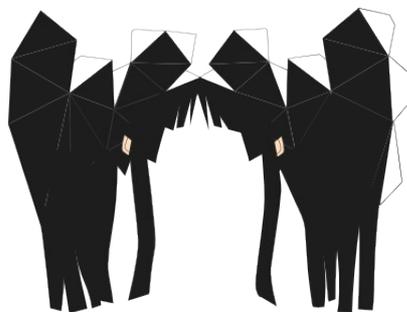


図3:髪型の修正

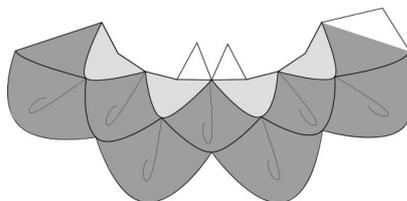


図4:スカートの修正

新たに部品をモデリングして追加したものも多く見られた。袖をつける、上着を重ね着させる、帽子をかぶせるなどである。モデリング段階で形状に部分的な修正を加えた作品もあった。手を横に向ける、スカートの形を変える、髪型を変える、足を長くするなどである。図5、図6。

4. まとめ

短期間で多くの種類の作品を作成することができた。組み立ての作業を先に行い、実際に手でさわって形状を理解してから始めると、3次元CGの仮想空間内でも形状の理解が容易であった。原型を用いることで設計製作の工程全体を見わたすことができた点でも効果があった。どの行程からでも改良を行なえ、少しの手間で新しい作品を作ることができた。原型として今風のアレンジが可能な形を与えたことも、創作意欲につながったのではないかと考えられる。

今後の課題としては、組み立て行程の効率化がある。形状に加える修正によっては、部品の数の増加、小さな部品の発生のほか、展開図の構成が大きく変わる場合もあり、組み立てに要する時間が多くなってしまう。ひじ、ひざを曲げるなどしてさまざまなポーズを付けたり、スカート以外の服装にするなどへの対応を行い、さらに良い作品が効率的に作成できるようにしたい。

今回、作品制作を行ったのは次の学生諸君である。青柳耕一、網干賢司、衣笠信茂、京本惇、田中秀明、谷佑介、松尾真吾、宮内信太郎。



図5:作品例1



図6:作品例2

第71回 形の科学シンポジウム
「形、模様、画像の時間変化の科学と応用」

【主催】形の科学会 【共催】千葉大学総合メディア基盤センター, 千葉市科学館

【会期】2011年6月17日(金), 18日(土), 19日(日)

【会場】6月17日(金), 19日(日)

千葉大学自然科学系総合研究棟1 1階大会議室

〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-3

千葉大学 交通アクセス: <http://www.chiba-u.ac.jp/access/nishichiba/index.html>

(JR西千葉駅より徒歩2分)

6月18日(土)

千葉市科学館 7階企画展示室

千葉市科学館 交通アクセス: <http://www.kagakukanq.com/guide/index.html#e>

(JR千葉駅より徒歩15分)

【世話人】植田毅 〒182-8570 東京都調布市国領町8-3-1 東京慈恵会医科大学

【参加費】会員・非会員とも一般3000円, 学生1500円

【懇親会】2011年6月18日(土) 19:00 三井ガーデンホテル千葉

<http://www.gardenhotels.co.jp/chiba/>

【懇親会費】一般5000円, 学生2000円

プログラム

6月17日(金)

会場: 千葉大学自然科学研究棟1大会議室

10:00 受付開始

セッション5(フォーラム)

10:20-10:40 ナノグラフェンリボンの端の形と電子状態の関係

夏目雄平¹, 藤本茂雄², 富田竜太郎¹ (1千葉大学理学研究科, 2千葉大学普遍教育センター)

セッション1

10:40-11:05 分子科学に現れる形の科学, 化学の音
中村振一郎¹, 納本 淳¹, 井出祐昭² (1理化学研究所, 2井出音研究所)

11:05-11:30 球面上の Vertex Dynamics (その2)

吉野隆¹, 岸本直子², 松岡 篤³, 栗原敏之³, 石田直人³, 木本克典⁴, 松浦 執⁵ (1東洋大学理工学部, 2摂南大学理工学部, 3新潟大学理学部, 4(独)海洋研究開発機構地球環境変動領域, 5東京学芸大学教育学部)

11:45-12:45 運営委員会

総合メディア基盤センター4階会議室

セッション3

13:00-13:25 バイオメディア・アートとしてのシアノバクテリアの造形について

岩崎 秀雄 (Metaphorest (bioaesthetics

platform), 早稲田大学大学院理工学術院)

13:25-13:50 今風ペーパークラフト作成のためのプロトタイプデザイン

田中正彦 (兵庫大学経済情報学部)

13:50-14:15 立体映像の学習利用の可能性

柳澤文香, 吉井拓弥, 小池貴子, 中村優美, 松浦 執 (東学大・教育)

セッション2

14:15-14:40 河川網, 葉脈, 樹枝状結晶, そしてミウラ折り

徳永英二 (中央大学)

14:40-15:05 中生代放散虫 Pantanellium の骨格構造と形態形成

松岡 篤¹, 吉野 隆², 栗原敏之², 石田直人¹, 木元克典³, 岸本直子⁴, 松浦 執⁵ (1新潟大学理学部, 2東洋大学理工学部, 3(独)海洋研究開発機構, 4摂南大学理工学部, 5東京学芸大学教育学部)

(15:05-15:15 休憩)

セッション2

15:15-15:40 Marcia P Sward Lobby タイリングの分析と価数5のnodeを持つ凸五角形タイリングの探索

杉本晃久 (科学芸術学際研究所 ISTA)

15:40-16:05 八面体のスケルトンで作る正十二面体の折り紙モデル

石原正三 (埼玉県立大学 保健医療福祉学部)

16:05-16:30 美の幾何学 XII 次元幾何学的情報交流の試み(1) 4次元球面を3次元有限領域に写像する試み

小川 泰 (産業技術総合研究所客員研究員, NPO 科学芸術学際研究所 ISTA)

16:30-16:55 2等辺3角形が作りだす同素4面体 $2(n+2)$ 連結環状体

横田至明 (TAMA 市民塾)

16:55-17:20 マイクロCTでみた放散虫の3次元形態

岸本直子 (摂南大学 理工学部 機械工学科)

展示

72°の内角を2つ備えた4等辺凸五角形を使ってタイリングを作ってみよう!

杉本晃久 (科学芸術学際研究所 ISTA)

運動性シアノバクテリアのコロニーパターン形成のダイナミクス

深澤有貴¹, 岩崎秀雄^{1,2} (1早稲田大学理工学術院, ²Metaphorest)

あたげぼねシザーズ構造の展開過程その1 あたげタワー

阿竹克人 ((株)阿竹研究所)

流れのシミュレーションとその可視化

升水 厚, 桑原諸兄 ((株)計算流体力学研究所)

6月18日(土)

会場: 千葉市科学館 7階企画展示室

9:00 受付開始

セッション2

9:30-9:55 縄文土器の文様と縄の特性

高木隆司¹, 植田 真² (1神戸芸術工科大学デザイン学部, ²(株)パスコ研究開発センター)

9:55-10:20 巣と餌場を結ぶ人工経路を用いたアリの経路選択挙動の研究

平山 修¹, 菱澤隼也¹, 石渡信吾² (1東京農工大学工学部, ²横浜国立大学工学研究院)

招待講演

10:20-11:20 化学反応によって駆動される液滴運動

北畑裕之 (千葉大学大学院理学研究科)

11:20-12:20 渦・波動・不安定性

青木圭子 (東邦大学理学部大型プロジェクト)

(12:20-13:20 昼休み)

招待講演

13:20-14:20 金平糖とその類似構造

中田友一 (中京大学国際教養学部)

14:20-15:20 バクテリアのコロニー形成—実験とモデル化—

松下 貢 (中央大学理工学部)

15:20-16:20 尿路結石形成のメカニズム

坂本信一 (千葉大学大学院医学研究院泌尿器科)

16:20-17:20 CT, MRI 画像からの心臓内血流の再現 (仮題)

井宮 淳 (千葉大学総合メディア基盤センター)

セッション2

17:20-17:45 キュビズムとガラス建築—近代技術による心性の変容

秋丸知貴 (美術史家)

17:45-18:30 形の科学会 総会

19:00 懇親会 三井ガーデンホテル千葉

6月19日(日)

会場：千葉大学自然科学研究棟1大会議室

8:30 受付開始

セッション4 (展示・ポスター紹介)

9:05-9:10 CGと折り紙で肺の「かたちからくり」を体感しよう

北岡裕子(株)JSOL)

9:10-9:15 個体の運動形質の違いによるバクテリアコロニーのパターン形成シミュレーション

森河良太, 宮川 毅, 高須昌子(東京薬科大学生命科学部)

9:15-9:20 ストローと輪ゴムを用いたテンセグリティ

工藤 清(手づくりおもちゃの科学館)

9:20-9:25 絞りの展示

中村健蔵(MathArt作家)

セッション3

9:25-9:50 絞り染めの可能性を考えるII

中村健蔵(MathArt作家)

セッション2

9:50-10:15 ハイנטスマン固定肺を使用した肺胞腔のHelicon Focusによる解析

小和田佳織, 流田智史, 本多 修, 富山 憲幸(橋本市市民病院, 大阪大学大学院医学系研究科 放射線医学講座)

セッション1

10:15-10:40 横隔膜の力学的非対称性が言語中枢を左に導く

北岡裕子((株)JSOL)

10:40-11:05 草本のフラクタル成長と葉面積・葉数べき乗則

小山耕平(石川県立大学 生物資源環境学部 環境科学科 植物生態学研究室)

11:05-11:30 ニューベキアの葉の発生過程における表現型可塑性のモデリング

中益朗子, 末松 J 信彦, 木村成介(明治大学 グローバルCOE)

11:30-11:55 タイムラプス観察に基づく多細胞性シアノバクテリアのヘテロシスト分化パターンニングの解析

石原潤一¹, 浅井宏啓¹, 岩森俊介¹, 宮城康之¹, 岩崎秀雄^{1,2}(¹早稲田大学理工学術院先進理工学研究科 電気・情報生命専攻, ²Metaphorest)

(11:55-13:00 昼休み)

セッション2

13:00-13:25 彗星理論の変遷—天体力学の観点から

杉本 剛(神奈川大学工学部)

13:25-13:50 可逆馬蹄写像のホモクリニック軌道に対する強制順序関係

山口喜博¹, 谷川清隆²(¹帝京平成大学, ²国立天文台)

13:50-14:15 積雪表面に現れる雪えくぼ: パターンとメカニズム

茂木智行¹, 島田 互², 竹内由香里³, 小南靖弘⁴, 山口 悟⁵(¹会社員, ²富山大学大学院理工学研究部(理学領域), ³森林総合研究所十日町試験地, ⁴中央農業総合研究センター 北陸研究センター, ⁵防災科学研究所 雪氷防災研究センター)

14:15-14:40 三日月型砂丘の衝突ダイナミクス

勝木厚成¹, 西森 拓², 遠藤徳孝³, 谷口圭輔⁴, 菊池 誠⁵(¹日本大学理工学部, ²広島大学理学研究科, ³金沢大学自然科学研究科, ⁴同志社大学理工学部, ⁵大阪大学サイバーメディアセンター)

14:40-15:05 ダイニンとマイクロチューブが作る自走粒子のパターン形成

永井 健¹, 住野 豊², Huges Chatéc³, 大岩和弘^{4,5}(¹東大理, ²愛知教育大教育, ³cCEA-Saclay, ⁴未来ICT 研究所, ⁵兵庫県立大学)

(15:05-15:15 休憩)

セッション1

15:15-15:40 画素分散化表示による視認性の改善

根岸利一郎, 関口久美子(埼玉工業大学・先端科学研究所)

15:40-16:05 あたけぼねシザーズ構造の展開過程その1 あたけタワー

阿竹克人((株)阿竹研究所)

16:05-16:30 太陽電池サブモジュール用集電線パターンの最適化の実証実験

大日方圭, 加藤直彦, 竹田康彦, 元廣友美((株)豊田中央研究所)

16:30-16:55 文字から見る変動型視覚誘導場モデルの可能性

沓名健一郎(名古屋市立大学)

ナノグラフェンリボンの端の形と電子状態の関係

夏目雄平¹⁾、藤本茂雄²⁾、富田竜太郎¹⁾

千葉大学理学研究科¹⁾、千葉大学普遍教育センター²⁾

natsume@faculty.chiba-u.jp

The relationship between forms of edges and electronic states in nanographene ribbons

Yuhei Natsume, Shigeo Fujimoto and Ryutaro Tomita

Chiba University, Inage-ku, Chiba city, Japan, 263-8522

Abstract: The formation of zero-mode states originating from two-sublattice structure is theoretically discussed in relation with characteristic forms of edges in nanographene ribbons, from viewpoint of transfer matrix method. In fact, such the electronic property is essentially dominated by the density of bearded bonds at the edge, which give the periodicity to ribbons.

Keywords: Bloch wave, Fermi level, zero-mode state, flat band, transfer matrix

○形と電子バンド

分子の電子状態はすべて「形」の反映であり「形の科学」といえる。特に、単一の原子からなる巨大高分子は、基礎理論として本質を捕らえやすい一方、実験的にも高純度の試料が得られ、応用上も重要である。その代表例が、ナノグラフェンであろう。これはグラファイト（石墨）一層からなり、大きさは一辺 100nm 程度で、図 1 の右（内部）のような蜂の巣格子をしている。そこで、基本構造（図中の点線の菱形）をずらして構成した周期構造を考えると、電子状態はバンド構造を作る。すなわち、電子状態がブロッホ波で記述され、波数空間においてエネルギーはバンド構造をなす。その際、実空間の基本構造には非等価な 2 つの格子点（図 1 の黒丸と白丸）が含まれるため、2 副格子構造となる。この特徴がバンド構造に大きな影響を与えている。実際バンド構造を見ると、電子が詰まっている価電子帯の最上部（top：フェルミ面と呼ばれている）と電子の空いている伝導帯の最下部（bottom）が一点でのみ交わっているという、特殊な金属（半金属）となっている。波数空間内のこの点（フェルミ点）はディラック点（DP）と呼ばれ、対応する実空間の電子状態は面全体に一様に広がっている。

○ナノグラフェンリボン

ここでは、このグラフェンをリボン状にして、端（edge）を作った時の電子状態を調べる。周期性は図の上下方向のみとなる。図の d が周期である。この場合、一般に、端の構造に局在した状態と DP 状態が結びついて、ゼロモード状態（ZMS）が形成される。電子エネルギーバンド構造的には、エネルギーの一点に状態が集中したフラットバンド（FB）となる。端を図のようなヒゲで覆っても、ZMS ができるが、ヒゲの密度 R に応じて、電子の存在する副格子が入れ替わる。これらの状態は、2 副格子構造を反映して、片方の副格子にのみ電子が存在する局在状態である。そのため、フェルミ準位に大きな状態密度を持ち、この系の物性を大きく支配している。

○長周期の格子構造

そこで、このヒゲを部分的に付けて、長周期を与えてその電子状態を調べることは重要な課題である。[1,2] その場合、どのような R でも ZMS(FB)があると予測されていたが、3 の倍数の周期で $R=1/3$ の場合には存在しないことを発見した。これは、端の「形」のわずかな変化が、リボン全体の電子状

態を支配することを意味している。

○位相整合—バルク・エッジ対応—

物性物理学的には、量子系では、位相効果によって、空間的にはごく小さな部分であるエッジが、バルク全体の状態を支配する場合があります、バルク・エッジ対応[3]といわれているが、その例の一つである。ここでの特徴は、位相の整合問題であって、転送行列の方法が有力である。すなわち、ヒゲの部分から内側へと ZMS を作っていくプロセスを行列で与え、それをリボンの内部へ繰り返し適用していった場合、順番に電子状態を与えていく手順が、発散することなく成功するかどうかを調べることになる。この方法では、「形」という情報は手順を記述する転送行列に含まれることになる。

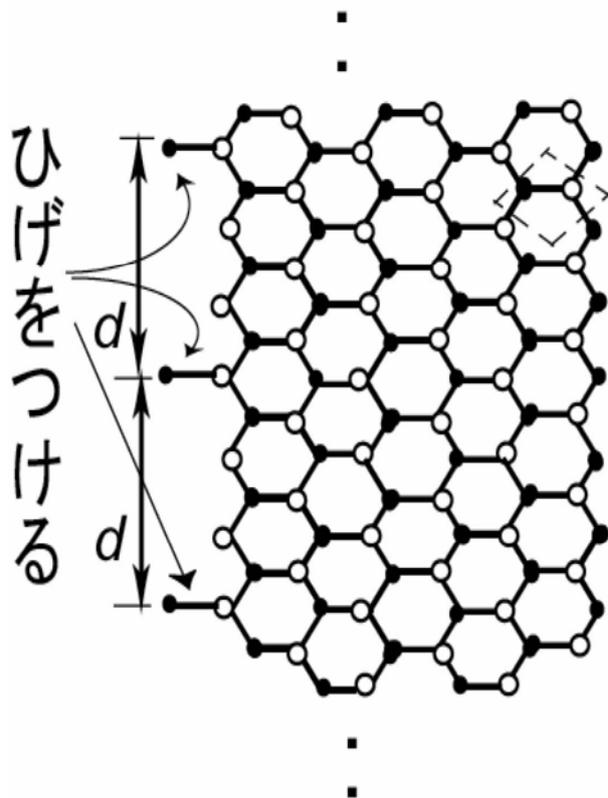


図. グラフェンは炭素の格子点が蜂の巣状に並んでいる。黒丸の点と白丸の点、2副格子構造を成している。これをリボン型に切ってジグザグな端を作る。そこへヒゲ状に新しい格子点を付けて、長周期の系とする。その周期を d とする。図は3倍周期でその周期内にヒゲが1つ付いている例となっている。

○結果

この方法を適用すると、2倍周期系（ヒゲが1本； $R=1/2$ ）では、黒丸に電子を局在させて ZMS を作れる。また3倍周期でも、ヒゲが2本（ $R=2/3$ ）の場合に黒丸型の ZMS を作ることができる。ただし3倍周期系でも、ヒゲが1本の場合（ $R=1/3$ ）は ZMS を与える手順は作れない。他方、4倍周期系では、ヒゲが1本の場合（ $R=1/4$ ）、白丸点に局在させることによって ZMS が可能である。一般に周期 N の系では、 R が $1/2$ 以下の場合、白丸型の ZMS が可能である。ただし、3の倍数の系に関しては $R=1/3$ では作れない。また、周期 N で R が $1/2$ 以上の場合、3の倍数の系を含めて、黒丸型の ZMS が可能である。蜂の巣格子特有の2副格子点系が起源となり、リボン系に対して、端のヒゲの付け方という「形」の微妙な変化が全体の物性（フェルミ準位における状態密度）を支配している。

参考文献

- [1]K. Wakabayashi, S. Okada, R. Tomita, S. Fujimoto and Y. Natsume, J. Phys. Soc. Jpn, **79** (2010) 034706.
- [2]R. Tomita, S. Fujimoto and Y. Natsume, J. Phys. Soc. Jpn, **79** (2010) 097001.
- [3]初貝安弘, 青木秀夫, 固体物理, **45** (2010) 457.

分子科学に現れる形の科学、化学の音

中村 振一郎¹、納本 淳¹、井出 祐昭²理化学研究所¹・和光市広沢 2-1、井出音研究所²・世田谷区宮坂 3-17-4

snakamura@riken.jp

Sound of Chemistry

Shin Nakamura, Atsushi Okumoto, Hiroaki Ide

RIKEN, 2-1Hirosawa, Wako; 3-17-4Miyasaka, Setagaya

Abstract: Numerical data obtained by Molecular Dynamics simulation are transformed into sound without any artificial treatments. The sounds turn out to be a kind of music, as if there are composers behind.

Keywords: Molecular Dynamics, Molecular Music

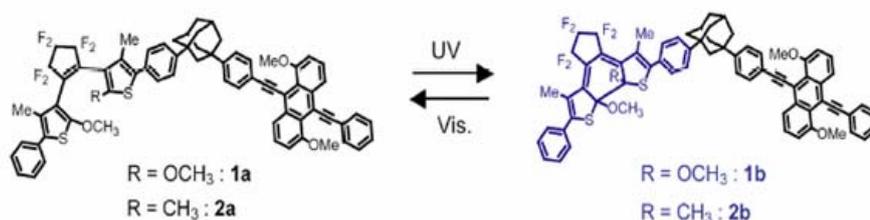
はじめに

分子軌道計算や分子力学計算を用いれば、半古典分子動力学あるいは、古典分子動力学計算を行うことができる。これはあるレベルの近似のもとに、第一原理計算を行い分子が与えられた環境あるいは与えられた摂動のもとで、時間発展する様子を追跡する手段である。現在ではすぐれた汎用プログラムが存在しており、物理化学の基礎研究をはじめ、ドラッグデザイン、触媒設計、機能分子設計に積極的に活用されている。

横軸を時間にとり、縦軸にはエネルギーもしくは着目する元素上の電荷密度をとれば、その時間発展を追跡することができる。広く一般にはこれらの数値データを図表化 (**visualization**) することにより研究開発は成されている。我々はこの生データを音に変換 (**sonification**) して解析することを試みたところ、意外な興味深い結果を得たので報告する。これを「視覚における形の科学」に対比して「聴覚における形の科学」と呼ぶことができるかもしれない。

結果と考察

下に示すのは有機光機能材料として注目をあつめているジアリールエテンという分子の代表的な例である。これら一連の分子は光に応答して吸収特性（色）が変わり、分子メモリー素子などの応用が期待されている。数多い先端機能材料のなかで、このジアリールエテン系には単一分子の特性が常識を超えた振る舞いを示し、新しく興味深い特性が注目



されている。我々は、視覚化だけでは応用展開を考えるイメージ開発に閉塞感を感じていたので、音に変換して解析・考察することを試みたわけである。発表当日には音も披露する予定である。

音に変換した結果、視覚から得られる情報とは相補的に新たなイメージを与えられたのはこの類の分子に限るものではない。まったく別の目的で実行していた RasRaf タンパクの古典分子動力学の結果も、試しに音に変換を試みたところ、そこからも新鮮な時間軸上の「形の科学」を実感させられた。ここに音を記録できないので、その音を再び視覚的なスペクトログラムにしたものを下図に示す。横軸は時間を、縦軸は音の高さ（振動数）色の濃さは音の強度を示している。

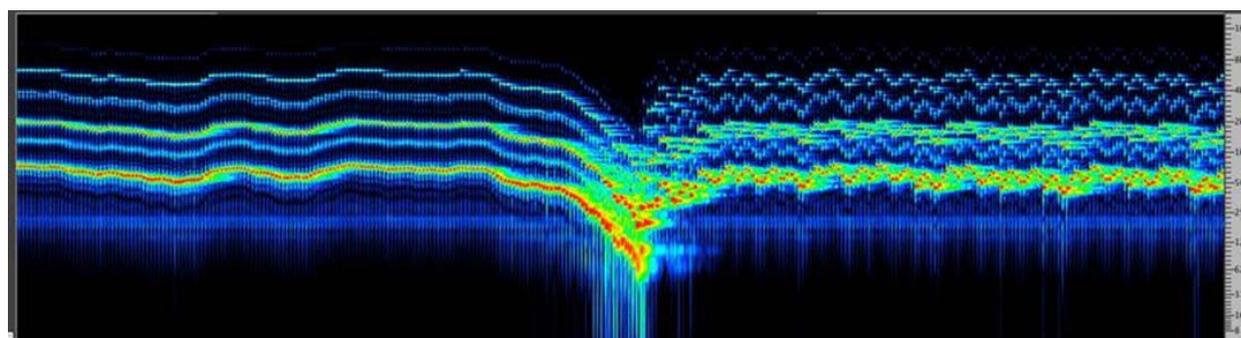


図 分子動力学データを音に変換したスペクトログラムの例

今後の展望

ここに示したのは一例に過ぎないが、すでに多くの分子動力学計算結果が得られている。これらから、聴覚をもちいた新しい分析解析結果表現方法が可能になるのではないかと、いう可能性が第一に期待される。さらに多くの応用も着想されつつある。しかしながら、これらを実際に聞いた人の殆どが、「あたかも作曲家が背後に潜むかのような」感想を漏らすことの意味は何であろうか。忌憚のない批判と議論をお願いしたい。

謝辞 労を惜しまずにサポートしてくださった篠田恵子博士、沈君偉博士、小林高雄博士、そして横島智博士に感謝します。(株)地球快適化インスティテュート(三菱ケミカルホールディングス)に感謝します。

球面上の Vertex Dynamics (その2)

吉野隆¹, 岸本直子², 松岡篤³, 栗原敏之³, 石田直人³, 木本克典⁴, 松浦執⁵
 1) 東洋大学理工学部, 2) 摂南大学理工学部, 3) 新潟大学理学部, 4) (独) 海洋研究開発機構地球環境変動領域, 5) 東京学芸大学教育学部

tyoshino@toyo.jp

Vertex Dynamics Model on Spherical Surface Part II

Takashi Yoshino¹, Naoko Kishimoto², Atsushi Matsuoka³, Toshiyuki Kurihara³,
 Naoto Ishida³, Katsunori Kimoto⁴, and Shu Matsuura⁵.

1) Toyo Univ., 2) Kyoto Univ., 3) Niigata Univ., 4) IORGC/JAMSTEC, 5) Tokyo Gakugei Univ.

Abstract: We extended 2D vertex dynamics model proposed by Nagai and Honda to spherical surface using spherical geometry. In this abstract, we showed its correct derivation and an example of the numerical simulation.

Keywords: Vertex Dynamics, Spherical surface, skeleton form, radiolarian.

はじめに

本研究では、長井と本多が提案した Vertex Dynamics モデルを球面上に展開して、その数値解を得ることを目指している。今回の発表では、前回の講演要旨にあったミスを修正し、正しいアルゴリズムを提示することを目指す。また、得られた数値解について、球形放散虫の骨格構造との関係について議論することも目指している。

長井-本多モデル[1]

長井と本多は(主に)厚さが一定の板における細胞構造について検討するために Vertex Dynamics モデルを導入した。Vertex Dynamics モデルは、辺によって他の3つの頂点と連結された頂点の運動を記述するもので、与えられたポテンシャルエネルギーに対して局所最小化を実現するための頂点配置が得られる。永井-本多モデルの特徴は、ポテンシャルエネルギーを辺長の総和 U_I と多角形面積の分散 U_D としている点にある。このとき、 i 番目の頂点についての方程式は $\eta \partial \mathbf{r}_i / \partial t = -\nabla_i (U_I + U_D)$ とまとめられる。ここで、 η はポテンシャルエネルギーの緩和のさせ方を決定する摩擦係数、 \mathbf{r}_i は i 番目の頂点の位置、そして ∇_i は i 番目の頂点についての位置に関する微分を表す。ふたつのポテンシャルは、

$$U_I = \sigma \sum_{\langle ij \rangle} |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|, \quad U_D = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} (S_{ij} - S_{ij}^0)^2 = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} \left[(\mathbf{k} \cdot [(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{j'}) \times (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{j''})]) / 2 - S_{ij}^0 \right]^2,$$

と表すことができる。ここで、 j, j', j'' は i 番目の頂点に隣接する頂点の番号を表し、 j が決まると自動的に左回りに j' と j'' が決まる。また、 \mathbf{k} は平面に垂直な単位ベクトル、 S_{ij}^0 は平均面積を表す定数である。これらのポテンシャルエネルギーに ∇_i を作用させることによって、長井-本多モデルにおける i 番目の頂点についての方程式は、次のように表せる。

$$\eta \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} = -\sigma \sum_i^{(j)} \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} - \rho' \sum_i^{(j)} (S_{ij} - S_{ij}^0) [(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{j''}) \times \mathbf{k}]$$

球面幾何学

永井-本多モデルを球面上に展開するためには、ポテンシャルエネルギーを構成する要素である距離（測地線の長さ）と面積を球面上のそれらに変更する必要がある。そのために、球面幾何学を用いる。球面上の2点間の測地線の長さは、2点を通る大円弧の（短いほうの）弧長に等しい。また、球面 n 角形の面積は内角の和から $(n-2)\pi$ を引いたものである。

球面上の Vertex Dynamics モデル

以下では頂点の動きを単位球面上に限定する。上記の測地線の長ささと球面 n 角形の面積を用いて、長井-本多ポテンシャルは以下のように表すことができる。

$$U_I = \sigma \sum_{\langle ij \rangle} \cos^{-1}(\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_j)$$

$$U_D = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} [\cos^{-1}(\mathbf{a}_{ij} \cdot \mathbf{a}_{j'j''}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j'j''} \cdot \mathbf{a}_{j''i}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j''i} \cdot \mathbf{a}_{ij'}) + \bar{S} - S_{ij}^0]^2$$

ただし \mathbf{a}_{ij} は i 番目の頂点の位置ベクトルと j 番目の頂点の位置ベクトルが作る平面に垂直な単位ベクトルを表しており、 $\mathbf{a}_{ij} = (\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j) / |\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j|$ である。また、 \bar{S} は i 番目の頂点の移動によって値が変更しない部分を示している。したがって、球面上に展開された Vertex Dynamics は、

$$\eta \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} = \sigma \sum_i^{\{j\}} \frac{\mathbf{r}_i}{\sqrt{1 - (\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_j)^2}} - \rho' \sum_i^{\{j\}} (S_{ij} - S_{ij}^0) \Delta S_{ij}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{r}_{j''})$$

と表すことができる。ここで、

$$\Delta S_{ij}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{r}_{j''}) = -\frac{1}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{ij'} \cdot \mathbf{a}_{j'j''})^2}} \frac{|\mathbf{r}_j|^2 (\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{a}_{j'j''})}{|\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j|^2} \mathbf{a}_{ij'} - \frac{1}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{j'j''} \cdot \mathbf{a}_{j''i})^2}} \frac{|\mathbf{r}_{j''}|^2 (\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{a}_{j'j''})}{|\mathbf{r}_{j''} \times \mathbf{r}_i|^2} \mathbf{a}_{j''i}$$

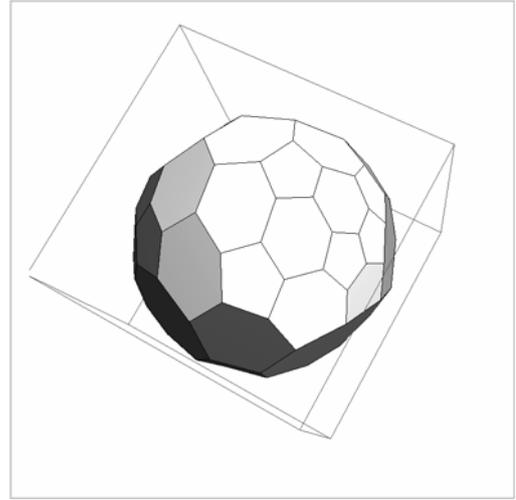
$$- \frac{1}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{j''i} \cdot \mathbf{a}_{ij'})^2}} \left(\frac{\mathbf{r}_j \times \mathbf{a}_{j''i}}{|\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j|} + \frac{\mathbf{a}_{ij'} \times \mathbf{r}_{j''}}{|\mathbf{r}_{j''} \times \mathbf{r}_i|} \right)$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{j''i} \cdot \mathbf{a}_{ij'})^2}} \left(\frac{\mathbf{a}_{j''i} \times \mathbf{a}_{ij'}}{|\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j|} (\mathbf{r}_j \times \mathbf{a}_{ij'}) - \frac{\mathbf{a}_{j''i} \times \mathbf{a}_{ij'}}{|\mathbf{r}_{j''} \times \mathbf{r}_i|} (\mathbf{a}_{j''i} \times \mathbf{r}_{j''}) \right)$$

である。本講演では頂点のつなぎ替えも実装した。これは平面の場合とほぼ同じアルゴリズムで行えるので説明は省略する。まだ計算途中ではあるが結果の一例を図に示す。

参考文献

[1] T. Nagai and H. Honda, A Dynamic Cell Model for the Formation of Epithelial Tissues, Philosophical Magazine B, 2001, Vol. 81, No. 7, pp. 699-719.



図：計算結果の例。

バイオメディア・アートとしてのシアノバクテリアの造形について

岩崎秀雄

1 *Metaphorest* (bioaesthetics platform), 2 早稲田大学理工学術院
hideo-iwasaki@waseda.jp

Cyanobacterial Morphogenesis from the View of Biomedial Arts

1 *Metaphorest*, 2 早稲田大学理工学術院

Abstract: Biomedial art represents art using biomedial (from biomolecules, cells to organisms) as media for art. Especially, recent advance in biomedical sciences/technology has been incorporated into the contemporary art field. Cyanobacteria exhibit various spatio-temporal pattern formations at genetic, cellular, population, and even geological levels, including circadian rhythms, regular pattern formation with cell differentiation, and complicated colony pattern formations, some of which can be explored in both art and science.

Keywords: Biomedial art, cyanobacteria, colony pattern formation, cell differentiation, iridescence

生命とアートには本質的に親和性があるように思える。生命が観察者と対象（生物）との関係性において感得される体験的な概念であるのと同様に、芸術もまた鑑賞者と対象（作品）との間で感得され、立ち現れる中間の関係性として捉えられ得るからだ。生命のメタファーやイメージラリーが、アートにおいて常に探究され、鮮烈に表現され続けてきたことは、おそらくそのことと無関係ではない。それは現在においても同様であり、生命科学が現代芸術の中でどのように受容され、表現されてきたのかを問うことは、現在の生命観を考える上で重要である。

生命科学を巡る芸術表現は、むろん完全に分別できるものではないが、例えば以下の5つの範疇が考えられる(1)。(1)教科書や論文の図のレイアウトや挿絵、専門誌の表紙のデザイン、図鑑の絵などのように、科学的概念・知見の理解を最重要視するタイプ。(2)生物絵画や静物画のように、生物そのものを表現するタイプ(必ずしも図鑑的な意味で描いているわけでもないものも含まれる)。(3)生物学的知見に触発された表現。単に生物学に触発されるだけでなく、人工生命に見られるように、その学際分野の研究活動の牽引役となる場合もあり得る。(4)バイオ研究が与える社会的インパクトを巡る芸術表現。(5)生体高分子や細胞を含む生体自体を素材とする表現。今回はこれをバイオメディア・アート (biomedial art) と呼んでおく(1-3)。

私たちは、早稲田大学内で生命科学とバイオメディア・アート(およびバイオロジカル・アート)を同時並行的に展開するプラットフォーム(*Metaphorest*)を運営しており、科学者とアーティストが実験ベンチをシェアしながら、安易な融合を避けつつ「生命」あるいは生命科学を巡る創作・研究活動を行っている。発表者は芸術分野で抽象的な切り絵を通じて一種の生命表現を模索し、生命科学分野では光合成をおこなうバクテリア(シアノバクテリア)が示す時空間パターンダイナミクスに着目し、概日リズムの解析(4-6)、Turingパターンを想起させる等間隔の分化パターンニング(7)を解析してきた。しかし、既に確立されている科学現象を(たとえば形状の面白さのみに着目して)そのままアートに二次転用することには抵抗感があ

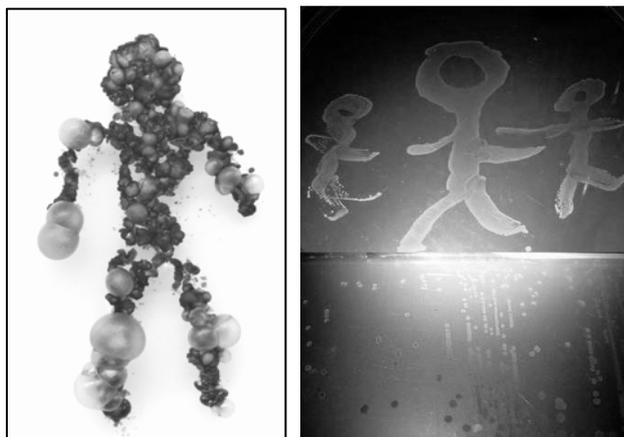
った。そこで、科学的にまだあまり解明されておらず、存在も殆ど知られていない現象をとりあげ、それを表現媒体として現代美術の延長線上に位置づけられる制作活動を展開することを試みた。そこで注目したのは、日常の生活環境から自前で分離してきたシアノバクテリアが示す、高次の運動性を伴うコロニーパターン形成現象や、三次元的な形態形成である。それは、視覚的に興味深いだけでなく、環境に応答しつつ自らを変貌させていくオートポイエティックな様相を示すとともに、様々なレベルでの時間発展現象や地球史に関する科学的・文化的含意を提起し、視覚芸術における「創造」「生成」の問題を探究する好個のメディアと捉えられるからである。以下、いくつかのプロジェクトを紹介する。

1. *Metamorphorest Project* (2006-) 立体的に配置された抽象的な切り絵作品に、シアノバクテリアのコロニーパターン形成の様子を解析した動画映像がプロジェクションされるインスタレーション (右図)。スピノフとしてのパターン形成に関する解析については、深澤+岩崎のポスター発表もご参照ください。



2. *CyanoBonsai Project* (2008-) 特殊な培養方法を開発し、非運動性シアノバクテリアにバブル構造を形成させる「バクテリアを用いた盆栽」プロジェクト (下左図)。生きた化石ストロマトライト形成とも何らかの関係があるのではないかと期待している。

3. *美しき虹色のドナウ* (2010) リンツで展示をした際、地元の方々とドナウ川から干渉色を示すバクテリアや寒天培地を分解するバクテリアを分離し (アルスエレクトロニカ・センターとの共同プロジェクト)、描かれた作品 (下右図)。



こうした活動では、特に新たな科学研究のシーズがもたらされることを必ずしもプライマリーな目的とはしていない。しかしながら、こうしたバイオメディア・アート活動の過程でスピノフとして観察されてきた時空間パターン形成現象には、科学的にみても興味深い現象が多々含まれていると考えている。皆様と議論させていただければ幸いである。

こうした活動では、特に新たな科学研究のシーズがもたらされることを必ずしもプライマリーな目的とはしていない。しかしながら、こうしたバイオメディア・アート活動の過程でスピノフとして観察されてきた時空間パターン形成現象には、科学的にみても興味深い現象が多々含まれていると考えている。皆様と議論させていただければ幸いである。

1. 岩崎秀雄 (2011) 「バイオメディア・アート：生命と芸術の臨界を巡って」 *実験医学増刊* 29(7): 1188-1196
2. 岩崎秀雄 (2010) 「バイオメディア・アート：美学的見地から観た合成生物学の可能性」 *科学* (岩波), 747-754
3. 久保田晃弘・岩崎秀雄 (2009) 「バイオメディア・アート」 *多摩美術大学論集*, 24:177-186
4. Tomita, Nakajima, Kondo & Iwasaki (2005) "No transcription-translation feedback in circadian rhythm of KaiC phosphorylation." *Science* 307, 5707: 251-254
5. Nakajima et al. (2005) "Reconstitution of circadian oscillation of cyanobacterial KaiC phosphorylation in vitro" *Science* 308: 414-415
6. Ito et al. (2009) "Cyanobacterial daily life with Kai-based circadian and diurnal genome-wide transcriptional control in *Synechococcus elongatus*" *PNAS*, 106:14168-14173
7. Asai, Iwamori, Asai, Ehira, Ohmori & Iwasaki (2009) "Cyanobacterial cell lineage analysis of the spatiotemporal *hetR* expression profile during heterocyst pattern formation in *Anabaena* sp. PCC 7120" *PLoS ONE*, 4(10): e737

今風ペーパークラフト作成のためのプロトタイプデザイン

田中 正彦

兵庫大学 経済情報学部, 加古川市平岡町新在家 2301

masahiko@hyogo-dai.ac.jp

http://ei-www.hyogo-dai.ac.jp/~masahiko/

Prototype design of paper craft for modern interpretation

Masahiko TANAKA (Hyogo Univ.)

1. はじめに

ペーパークラフトの設計は、各種CGソフトや展開図作成ソフトを利用して行うことができる。設計製作は、モデリング、展開図作成、着色、組み立ての行程からなり、良い作品を作るには工程全体をみわたして作業を行う必要がある。形を理解するには実物を触ってみることが一番である。プロトタイプを利用することで組み立て工程を先に経験することができる。その後で対応する形状を用いてモデリングを行うと完成形や展開図との対応、工程間の関連が理解しやすく効率的に作品製作を行うことができる。またどの工程からでも修正を加えることができる。

2. 設計方針

興味ある形であり多くのバリエーションが可能で、作品作りに利用できることを目標に3.5頭身の少女型のプロトタイプを作成する。作品作りの観点から、モデリング時における修正のしやすさ、展開図への着色しやすさ、部品の選択と組み合わせの自由、適度な複雑さを満たすものとする。

形の理解、形と展開図との対応の理解も目的の1つで、実際に組み立てを行うことで確実に理解できるようにする。一部分を組み立てる段階から実際の形を思い浮かべながら作業ができ、作業が進むにつれ理解が進むようにする。そのため部品への分割方法、全体の組み立て手順を工夫する。

組み立てやすさのためには、組み立て手順がわかりやすく、手順が展開図から読み取れることが重要である。のりしろと貼り付け位置の対応、パーツごとの組み立て手順、全体の組み立て手順である。完成形と造形時の思考方向を図1に示す。

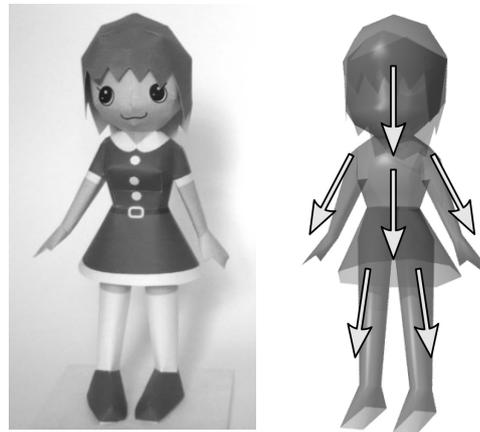


図1：完成形

3. プロトタイプ

モデリングは髪、胴、両足の4つの連結部分に分けて行った。胴の部分は顔、シャツ、スカート、両手がつながった形状である。展開図では髪、顔、シャツ、スカート、手、足の部品に分割する。髪、シャツ、スカートは異なった形状のものも用意し、自由に組み合わせが可能である。基本的な部品の形を図2に示す。

髪は展開図段階での修正が行われることを考え、髪の縁にあたる部分が連続した形になるように展開した。組み立ては前部中央から左右の順に行う。

顔はデッサンよりやや大きめに作成した。髪と顔の隙間が開き過ぎないようにするためである。首はこの部品に含まれシャツと接着する箇所にあたる。組み立ては鼻の位置から始め、左右から後ろへの順に行う。

手には三角錐型の突起をつけて親指を表現した。親指があることで手の向きや左右の手の区別ができ、組み立て時に形の理解がしやすい。また手の表情も豊かになる。組み立ては親指部分から行い、肩の部分で終わる。

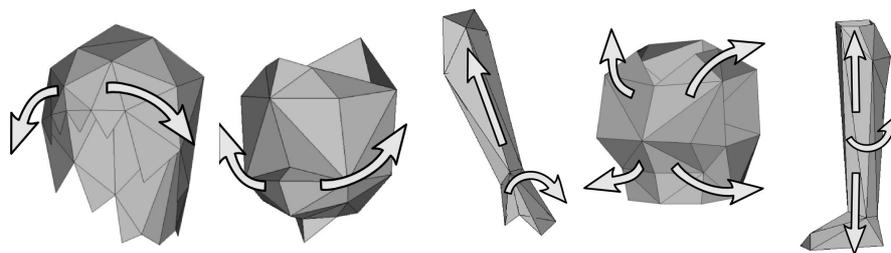


図2：基本的な部品

シャツは他の4つの部品との接続箇所がある。上端が首、下端がウエストの位置である。腕との接続部分は正方形とし、腕を90度単位で回転して接着可能とした。組み立ては正面中央から、腕、首のまわりをたどる順に行う。その後スカート接着する。

足は筒状にしてから上下の部分を組み立てる。スカートやパンツに接着する箇所ののりしろは省略した。ポーズを考えながら角度を変えて自由に接着する。

組み合わせ可能な部品を用意した。ポニーテールなどの髪型、スカート、長短のパンツ、袖の付いたシャツ、ひじのある手、ひざのある足などである。一部を図3に示す。袖の付いたシャツでは、腕の接着方法を工夫することで手の向きを少し変えることができる。

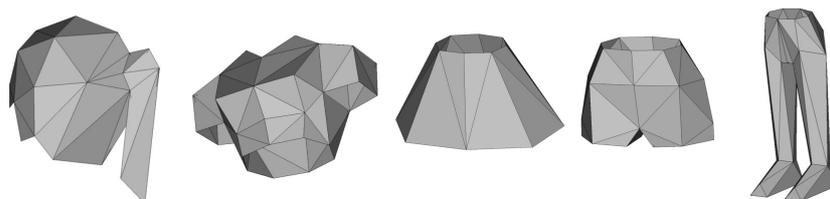


図3：組み合わせ可能な部品

4. まとめ

形状の理解ができた後では、プロトタイプを自由に修正して作品作りが可能である。他の部品との接着箇所以外では大きく変更することもできる。またプロトタイプの形状を参考にして自分でモデリングを行うと創作の幅が広がる。この場合、展開図が大きく変わってしまうが、組み立ての流れを理解していれば修正可能である。

参考

モデリングには Art of Illusion を用いた。オープンソースの処理系で、日本語化は田中が行っている。展開図生成にはペパクラデザイナー3、着色には Inkscape を用いた。

立体映像の学習利用の可能性

柳澤文香, 吉井拓弥, 小池貴子, 中村優美, 松浦執
東学大・教育, 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

E-mail: shumats0@gmail.com

Possibility of Stereoscopic Display for Learning Use.

Takako Koike, Takuya Yoshii, Ayaka Yanagizawa, Yumi Nakamura, Shu Matsuura
Tokyo Gakuei University, 4-1-1 Nukui-kita, Koganei, Tokyo.

Keywords: Stereoscopic Display, Multimedia, Virtual Camera.

Abstract: Stereoscopic display provides easiness of depth perception in the 3D computer graphics. Also, one can explore 3D modeling space relatively freely by driving a pair of virtual cameras. Polls of university students and elementary school pupils suggested that stereoscopic display makes the perception of 3D motion and construction considerably easier. Thus, the change of motion or 3D configuration of objects is easier to be noticed. Such characteristics of stereoscopic display will be beneficial for learning resource.

1. 立体映像装置

近年、PC および TV に立体映像ディスプレイが増加しつつある。現在はゲーム CG 対応が主な用途とみられ、液晶シャッター付眼鏡で少人数での視聴を前提とするものが目立つ。裸眼用ディスプレイはゲーム機やフォトフレームなど小型なものにも広がり、1人用鑑賞装置として映像の質は著しく向上している。一方、通常のスクリーンに立体映像を映写して液晶シャッター眼鏡で見るプロジェクターも市販されており、多人数で立体映像を鑑賞することも容易になり始めている。2台のプロジェクターからの、互いに垂直に偏光した映像を光学的に合成し、偏光保存性のスクリーンに映写するデュアルプロジェクター方式は、安価な偏光眼鏡で見られ、目への負担が比較的到低い。そして多人数で映像を鑑賞できるので、教室など初中等教育の場での利用の可能性も広がり得る。映写装置の増加の一方で、デジタルカメラやビデオカメラ分野にも立体映像撮影装置が市販されるようになった。現在のところは映写装置と組み合わせて利用することが普通であり、撮影と映写装置とを自由に組み合わせるためにはやや専門的な知識が要求される。

2. 教材としての立体映像のメリット

立体映像のメリットについてはまだ未知の要素が多い。3DCG が絵画的な手がかりによって立体感をもたらすのに対して、立体映像では視差の情報が加わり、再現性の高い深さ知覚が得られることが分かっている。従って、絵画的な手がかりの少ない単純化したモデル画像でも、そのまま立体認識が可能であることを意味する。理科の物理分野では2, 3次元の図が説明に多用される。特に3次元の図では、もともとある程度の理解が確立していないと図を解釈することが困難な場合がある。3次元から2次元への投影図を用いる場合

にも同様と思われる。

われわれは 3次元世界を 2次元に投影した視覚情報から実際の 3次元視覚世界を構築している。同様にして、3次元世界が容易に知覚できる状況にあれば、その 3次元世界の時間的変化の認識が著しく容易になる可能性があるのではないか。

3. 立体映像CGでの運動の変化への注目

簡易な 3D 分子運動モデルを作成して、Lennard-Jones ポテンシャルおよび Coulomb ポテンシャルをそれぞれ独立に設定できるようにした。仮想カメラのモードとして、3D モデルの固定座標系を基準にして移動することができる固定座標モード(FFR)と、3D シーン中を運動する粒子に camera を固定する運動座標モード(MFR)とを選択できるようにした。さらに、3D モデルを操作するために、ゲーム用リモコンである Wii リモコンをインターフェースとした。Wii リモコンには、仮想カメラをボタン押しで移動させるカメラ駆動モードと、3D モデルの中の 1 粒子に、3 軸方向にボタン押しごとに一定運動量を与える粒子駆動モードを設けた。粒子駆動モードでは、粒子を動かすときに他の粒子からの力の作用を立体画像の運動から擬似的に感じ取ることができる。このモデルを大学生に体験してもらい、立体映像と、視差のない映像とを随時切り替えて比較しながら分かりやすさについてのアンケートを行った。また、小学校 4~6 年生の科学クラブのメンバーにリモコンでの粒子駆動を体験してもらい (図 1)、アンケートを行った。



図 1 小学校理科クラブでの立体映像映写

大学生対象のアンケートからは、ポテンシャルの組み合わせにともなう運動の変化は立体映像の方がより明瞭に感知できること、絵画的な手がかりのない映像になるほど、視差をつけることによる立体感の効果が高いこと、分子間力で集合している粒子系が境界に弾性衝突するときの、系内部での粒子間の力の伝達など、立体構造の分かりやすさの効果が大きい現象で、立体映像のメリットが現れることなどが分かった。

また、小学校での活動では、引力と斥力が混在して現れる状況もよく見分けることができたこと、リモコンで 1 粒子を駆動しても、他の粒子からの力によって思うように動かせないことなどが回答から確認できた。さらに、立体映像への期待として、より没入的に、かつ映像要素とのインタラクションをより緊密であるとよいということを、回答内容の傾向から読み取ることができた。実際に触って影響が及ぶかのようなインタラクションの構築が求められる。

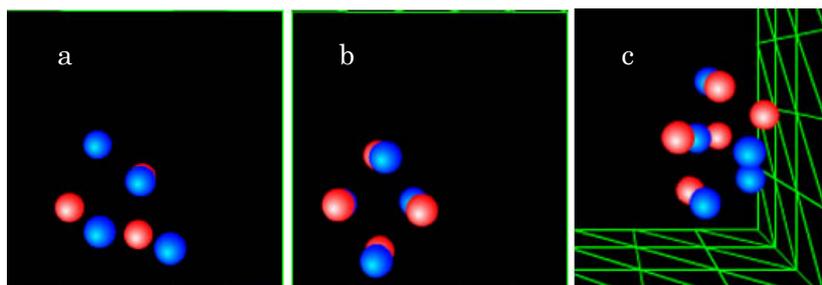


図 2 a:Lennard-Jones ポテンシャル、b:LJ ポテンシャル+静電ポテンシャル、c:LJ ポテンシャルで結合した粒子系が境界に衝突する様子。

河川網，葉脈，樹枝状結晶，そしてミウラ折り

Relationships among river networks, leaf networks, dendritic crystals, and Miura-ori patterns

徳永英二 (中央大学)

Eiji Tokunaga (Chuo University)

〒192-0393 東京都八王子市東中野 742-1 中央大学経済学部気付
 c/o Faculty of Economics, Chuo University, 742-1 Higashinakano,
 Hachioji-shi, Tokyo 192-0393, Japan
 tokusan@tamacc.chuo-u.ac.jp

統計的に自己相似な分岐

図1には自己相似な河川網が描かれている。 a をこのような河川(水路)網において j 次の水路1本に直接側方より流入する $(j-1)$ 次の水路の数, $T_{i,j}$ を j 次の水路1本に直接側方より流入する i 次の水路とした場合, $T_{i,j}$ は式(1)で与えられる。

$$T_{i,j} = ac^{j-i-1} \quad (1)$$

ただし, a, c はそれぞれ一定とする。ここで, $N_{i,j}$ を j 次の流域(河川網内の水路の最大次数=流域の次数)とすると, $N_{i,j}$ は式(2)で与えられる。

$$N_{i,j} = \frac{2+a-P}{Q-P} Q^{j-i} + \frac{2+a-Q}{P-Q} P^{j-i} \quad (2)$$

ただし, $P = \left(2+a+c - \sqrt{(2+a+c)^2 - 8c}\right) / 2$,

$Q = \left(2+a+c + \sqrt{(2+a+c)^2 - 8c}\right) / 2$ (Tokunaga,

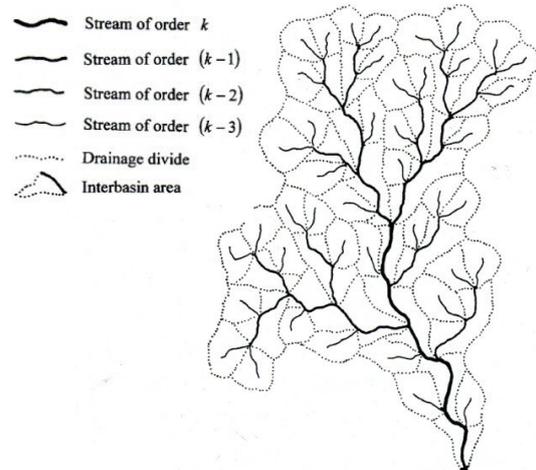


図1 自己相似な河川網と流域

2003)。 (1), (2)には, これまで河川網, 葉脈, 血管網, DLA など, 数多くの統計的に自己相似な分岐系に適合することが証明されている (Turcotte *et al.*, 1998)。統計的に自己相似な系では a, c および $N_{i,j}$ は, 平均値で与えられる。したがって, これらの値は一般的には非整数である。

決定論的に自己相似な分岐

ペアノ流域は決定論的フラクタルである。かなり以前から様々なタイプの決定論的フラクタルモデルが提案されているが, それらの中には“area-filling”型もしくは“volume-filling”

型と称されるものがある (Newman *et al.*, 1997, Turcotte *et al.*, 1998)。最近後者の基本的な考えをジルコンの樹枝状結晶の生長に適用しようとの研究が発表された (French, 2010)。ただし、その研究は (1), (2) を直接応用したものではない。(1), (2) によっても様々な決定論的に自己相似なフラクタルを表現することができる。それは a , c に相当する値がそれぞれ整数であれば, $N_{i,j}$ に相当する量は整数となるからである。また、そのことは容易に証明することができる。 $N_{i,j}$ が整数値であることに重要な役割を果たすのが、(2) 中の P である。統計的に自己相似な分岐系の研究では Q の値が分岐比の収束値として重要視されてきたが、決定論的に自己相似な分岐系を研究では P の役割に対する検討が必要である。

自己組織化されたフラクタルとその共通点

統計的であれ、決定論的であれ、河川網、葉脈、DLA、樹枝状結晶は自己組織化されたフラクタルである。河川網と葉脈の共通するところは、まずどちらも 2 分木 (binary tree) によって構成されていることである。また、水路も葉脈も物質が流れるところ、いわば谷である。ある支流の合流点の対岸には反対側からの支流は流入しない。河川網では、支流が流入する本流の対岸は上に凸なる斜面となる。DLA には水は流れないが、その分岐の様相は河川網のそれと似ている。ミウラ折りでは、ジグザグする本流の谷 (折り) の凸部で支流の谷 (折り) が合流し、その対岸の山 (折り) である。ミウラ折りが自己組織的につくられることは証明されている (Mahadevan and Rica, 2005)。自己組織化されたシステムが形の面で幾つかの共通点を有することに、それらの形を形成する力の間には何らかの共通するものがあるのではないだろうか。

文献

- Tokunaga, E. (2003) Tiling properties of drainage basins and their physical bases. In Evans, I. S. *et al.* (Ed.), Concept and modelling in geomorphology. 147-166. TERRAPUB, Tokyo.
- Turcotte, D. L., Pelletier, J. D. and Newman, W. I. (1998) Networks with side branching in biology. *J. Theor. Biol.* 193, 577-592.
- Newman, W. I., Turcotte, D. L., and Gabrielov, A. M. (1997) Fractal trees with side branching. *Fractals*, 5. 603-614.
- French, E. F. (2010) Dendritic zircon formation by deterministic volume-filling fractal growth: Implications for the mechanisms of branch formation in dendrites. *American Mineralogist*, 95, 706-716.
- Mahadevan, L. and Rica, S. (2005) Self-Organized origami. *Science*, 307, 1740.

中生代放散虫 *Pantanellium* の骨格構造と形態形成

松岡 篤¹, 吉野 隆², 栗原敏之¹, 石田直人¹, 木元克典³, 岸本直子⁴, 松浦 執⁵

1) 新潟大学理学部, 2) 東洋大学理工学部, 3) (独) 海洋研究開発機構,

4) 摂南大学理工学部, 5) 東京学芸大学教育学部

matsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

Skeletal structure and morphogenesis of Mesozoic radiolarian *Pantanellium*

A. Matsuoka¹, T. Yoshino², T. Kurihara¹, N. Ishida¹, K. Kimoto³, N. Kishimoto⁴, and S. Matsuura⁵

1) Niigata Univ., 2) Toyo Univ., 3) IORGC/JAMSTEC, 4) Setsunan Univ., 5) Tokyo Gakugei Univ.

Keywords: morphogenesis, *Pantanellium*, radiolaria, skeleton, taxonomy, X-ray micro CT

はじめに

放散虫はシリカ (SiO₂) の内骨格をもつ原生生物である。古生代カンブリア紀に出現し、現在でも浮遊性生物として全海洋にわたって生息している。現生放散虫の骨格形成については、飼育実験によりその過程を追跡することができる。絶滅した放散虫の場合には、生きている姿を観察することができないこともあり、化石放散虫についての骨格形成に関する研究は少ない。

Pantanellium は、中生代トリアス紀後期に出現し、白亜紀前期まで生息した放散虫の1属である。X線マイクロCT技術と積層造形法により *Pantanellium* の骨格の実体モデルを作成し、詳細な形態の把握に努めてきた。これまでに外層殻にみられる殻孔の数とその配列様式についての検討[1] [2] [3] [4]や、分類形質についての評価[5]を行ってきた。今回は、実体モデルおよび多数の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像をもとに *Pantanellium* 属放散虫の骨格形成について考察する。使用した試料は、マリアナ海溝産の白亜紀最前期の化石である。本研究は、新潟大学コア・ステーション「形の科学研究センター」が進める分野横断型共同研究の一部である。

Pantanellium の骨格の形態と分類形質

Pantanellium 属の放散虫は、殻孔枠 (pore frame) のある球状の内層殻 (medullary shell) と外層殻 (cortical shell) および2本の主棘 (primary spine) をもつことで特徴づけられる (図1)。内層殻と外層殻は連結梁 (beam) で繋がっている。主棘および連結梁は内層殻と外層殻の殻孔枠の頂点同士を連結している。主棘は外層殻を貫き、外層殻の外側にまで伸びる。主棘にはその長軸に平行な3つの稜 (ridge) と溝 (groove) が発達する。内層殻および外層殻の殻孔枠は、そのほとんどが五角形ないし六角形を呈する。

Pantanellium 属は Pessagno により、Spumellaria 亜目の属として 1977 年に設立された。同時に *Pantanellium* 属などを含む科として Pantanelliidae 科が新設された。Pessagno and Blome (1980) は種レベルの分類基準として、1. 主棘の微細構造 (主棘にある溝と稜の幅), 2. 殻孔枠の厚さ, 3. 殻孔枠の頂点にみられる突起物の有無, 4. 殻孔枠の大きさと数, 5. 主棘の長さ, の5点をあげている[6]。これまでに、主としてこの基準を適用して約 80 種が記載されている。われわれは、外層殻にみられる殻孔の総数と殻孔枠が作る多角形の種類・数およびその配列は、*Pantanellium* 属の種を区別する上で重要は形態形質であることを指摘した[5]。

Pantanellium の骨格形成過程

実体モデルおよび成長段階の異なる個体の SEM 画像から判断すると、*Pantanellium* の骨格形成は以下のようなものであると考えられる。最初に形成されるのは内層殻である。内層殻の殻孔枠の頂点から連結梁が外側に伸びる。連結梁が伸びきったところから外層殻を形成し始める。連結梁のうち、両極に伸びる 2 本は外層殻を貫き主棘となる。主棘および外層殻にはさらにシリカが付加し厚みを増す。主棘の末端間 (S-S') の長い個体が広い外層殻の幅 (B-B') をもつという関係があることは、両者がともに付加成長していることを示している。

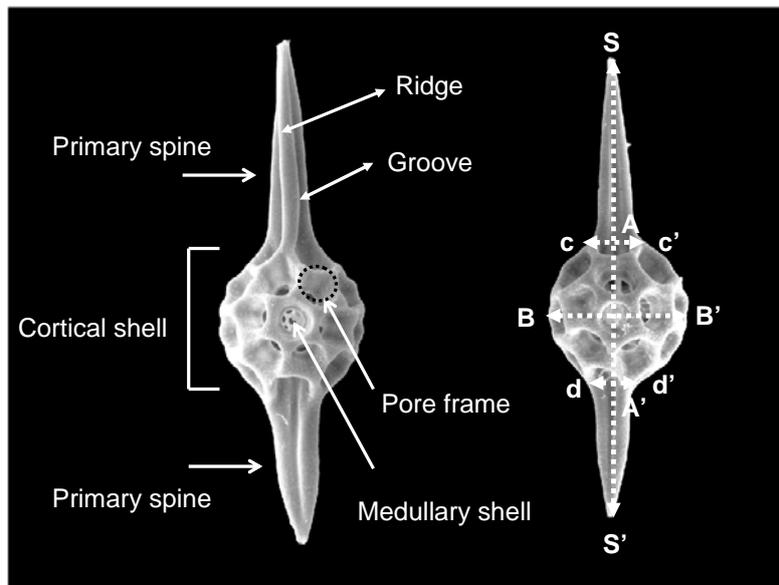


図1 *Pantanellium* 属放散虫の部位の名称と計測位置

おわりに

内層殻および外層殻は、頂点の次数が 3 の凸多面体に近似しうる。*Pantanellium* 属の骨格形成を理解するためには、この凸多面体が形成されるメカニズムを解明する必要がある。なお、先に示したように[5]、殻孔枠の数とその配列、すなわち凸多面体の形状は、本属の種を区別する上でも重要は形質である。

文献

- [1] 松岡 篤ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の配列様式. 形の科学会第 67 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(1)**, 33-34.
- [2] 吉野 隆ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の幾何学. 形の科学会第 67 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(1)**, 35-36.
- [3] 松岡 篤ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の配列様式とその多様性. 形の科学会第 68 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(2)**, 160-161.
- [4] 松岡 篤ほか (2010) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる 27 個の殻孔の配列. 形の科学会第 69 回シンポジウム, 形の科学会誌, **25(1)**, 17-18.
- [5] 松岡 篤ほか (2010) 中生代放散虫 *Pantanellium* の形態形質とその分類学的評価. 形の科学会第 70 回シンポジウム, 形の科学会誌, **25(2)**, 160-161.
- [6] Pessagno, E.A.Jr. and Blome, C.D. (1980) Upper Triassic and Jurassic Pantanelliinae from California, Oregon and British Columbia. *Micropaleontology*, **26**, 225-273.

Marcia P Sward Lobby タイリングの分析と 価数5のnodeを持つ凸五角形タイリングの探索

杉本晃久

科学芸術学際研究所 ISTA, 〒351-0036 朝霞市北原 2-5-281 鈴木第2ビル 211
ismsugi@gmail.com

Analysis of Marcia P Sward Lobby Tiling and Search of Convex Pentagonal Tiling with 5-valent nodes

SUGIMOTO, Teruhisa

The Interdisciplinary Institute of Science, Technology and Art, Suzukidaini-building 211,
2-5-28 Kitahara, Asaka-shi, Saitama, 351-0036, Japan

Abstract: Marcia P Sward Lobby tiling is special convex pentagonal tiling with nodes of three kinds. Marcia P Sward Lobby tiling is analyzed from view point of the relation of node ratio. Then, we search an edge-to-edge tiling that has 5-valent nodes by using convex pentagonal tile with two interior angles of 72° .

Keywords: Convex pentagon, Tiling, Tile, Node, Marcia P Sward Lobby tiling.

1 はじめに

一種類の合同凸五角形のみでユークリッド平面を隙間なく充填できる凸五角形タイルの網羅問題はまだ未解決で、一般に凸五角形タイル張り問題と呼ばれる。凸五角形タイルは現在14種類のtypeに分類されているが、これ以外のtypeがないかどうかはまだ確定していない。タイルによって埋め尽くした平面のパターンを、タイリングと呼ぶ。タイリング内の任意の2つの凸多角形が1つの頂点で交差しているか1つの辺を共有しているかのどちらかであるならば、その凸多角形によるタイリングをedge-to-edgeと呼ぶ。凸五角形タイルのタイリングは、edge-to-edgeな場合とそれ以外が混在している。type 4, type 5, type 6, type 7, type 8, type 9の少なくともどれか1つに属す凸五角形タイルは、edge-to-edgeタイリングを生成できる。type 1またはtype 2に属す凸五角形タイルを用いたタイリングは、一般にはnon-edge-to-edgeで示されているが、特別な場合にedge-to-edgeタイリングを生成できる。

本研究では、edge-to-edgeタイル張り可能な凸五角形に注目する。また、edge-to-edgeタイリング内で、 n 個のタイルが1点に会する点を価数 n のnodeと呼ぶことにする。凸五角形タイルによるedge-to-edgeタイリングは、価数3のnodeと価数4以上のnodeを備えている必要がある。我々はこれまでの研究で、凸五角形タイルによるedge-to-edgeタイリングに適応できるnodeの種類と比率に関していくつかの関係を与えてきた。

2 Marcia P Sward Lobby タイリングの分析

我々は、凸五角形タイルを用いた周期的なedge-to-edgeタイリングに関して、使われているnodeの価数の種類が2種類であるようなもの（価数3と4のnodeを備えたedge-to-edgeタイリングか、価数3と6のnodeを備えたedge-to-edgeタイリング）しか知らなかった。最近、Marjorie Riceが、凸五角形タイルを用いた価数3と4と6の3種類のnodeを備えた周期的なedge-to-edgeタイリングを発見していることを知った。そのタイリングは、アメリカ数学協会のビルの床を飾っており、「Marcia P Sward Lobbyタイリング」と呼ばれている（図1参照）。本研究では、まずMarcia P Sward Lobbyタイリングの性質を、我々が以前に導いているnode比率の関係式を使って分析する。



図1. アメリカ数学協会のビルの床のMarcia P Sward Lobbyタイリング (引用元 : <http://mathtourist.blogspot.com/2010/06/tiling-with-pentagons.html>).

3 価数5のnodeを持つタイリングの探索

Marcia P Sward Lobbyタイリングの存在を知ったとき、我々はBagina's Propositionに着目したedge-to-edgeタイル張り可能な凸五角形の研究を行っていた。その研究過程で、Marcia P Sward Lobbyタイリングで用いられている凸五角形タイルを導いていた。我々が行っていた上記の研究では、凸五角形がタイル張り可能であるかどうかを判定することを優先していたので、既存のtypeに属していると判定できた凸五角形はそれが実際にどのようなタイリングを生成できるかを調べなかった。今回、Marcia P Sward Lobbyタイリングを知ったことで、我々が行っていた上記の研究過程で見つけたある凸五角形タイルの性質が気になり始めた。その凸五角形タイルは、 72° の内角を2つ備えた4等辺凸五角形である。この凸五角形はtype 1に属す凸五角形タイルで、角度と辺の関係から、type 1の基準であるようなタイリングが生成できる。一方で、 72° の内角を備えていることから、5つの頂点が1点にnodeのように集結するような組合せが何パターンか可能であると気づく。そこで、この凸五角形が価数5のnodeを持つタイリングを生成できないのかという興味が湧き、調査を行ったのでその結果を報告する。

参考文献

- Grübaum, B. and Shepard, G. C. (1987). *TILINGS AND PATTERNS*, W. H. Freeman and Company, New York, pp.492-497 (Chapter 9).
- Ivars Peterson (2010). Tiling with Pentagons, <http://mathtourist.blogspot.com/2010/06/tiling-with-pentagons.html>
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2006). Properties of Tilings by Convex Pentagons, *Forma*, **21**, 113-128.
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2009) Systematic Study of Convex Pentagonal Tilings, II: Tilings by Convex Pentagons with Four Equal-length Edges, *Forma*, **24**, 93-109.
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2009), Properties of Nodes in Pentagonal Tilings, *Forma*, **24**, 117-121.
- 杉本晃久 (2010) Edge-to-edge タイル張り可能な凸五角形, 形の科学会誌, **25**, 29-30.
- BUILDING GUIDE, http://www.maa.org/development/MAA_buildingguide.pdf

八面体のスケルトンで作る正十二面体の折り紙モデル

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部, 埼玉県越谷市三野宮 820 番地

E-mail: shozo@spu.ac.jp

An Origami-model of a dodecahedron constructed of octahedral skeletons

Shozo, ISHIHARA

School of Health and Social Services, SAITAMA Prefectural University,
820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, Japan

Abstract: With a view to studying on three-dimensional aperiodic structures of quasicrystals, an Origami-model of a dodecahedron constructed of octahedral skeletons, has been invented, and some remarkable geometrical features of the Origami-model have been demonstrated. Referring to a slab of the Origami-model of a Penrose pattern^[2], it is suggested that a quasi-periodic structure of a potential inorganic quasicrystal deduced from a survey on crystal chemistry, would be represented by staking slabs between which the dodecahedra should be inserted.

Keywords: Origami-model, dodecahedron constructed of octahedral skeletons, quasicrystal

1. はじめに

1984 年に初めて存在が確認された準結晶(Quasicrystal)は, 従来の結晶学ではありえないものとされてきた非周期的な 5 回対称性を電子線回折像が示すことから, 結晶学に新たな枠組みを提起するとともに, 物質科学の分野に新たな進展をもたらすものとして期待されている。

1974 年にロジャー・ペンローズが考案したペンローズパターン(または、ペンローズ格子)に基づき, 準結晶の非周期的構造(準周期構造)が理論的に検討され, すでに数種類の金属準結晶の回折パターンから複数の準周期構造が提案されている^[1]。近年、八面体の骨格構造(スケルトン)で構成された4種類のクラスターを用いて、二次元ペンローズパターンを表現する板状構造(Slab):ペンローズパターンの折り紙モデル^[2]が考案され(図1)、準結晶の研究対象が金属準結晶から無機化合物準結晶へと広がる可能性が示唆されている。

本報告では, 無機化合物準結晶探索への第一歩として, 八面体のスケルトンを接続して正十二面体構造が形成されることを示し, この正十二面体構造の幾何学的特徴を考察する。

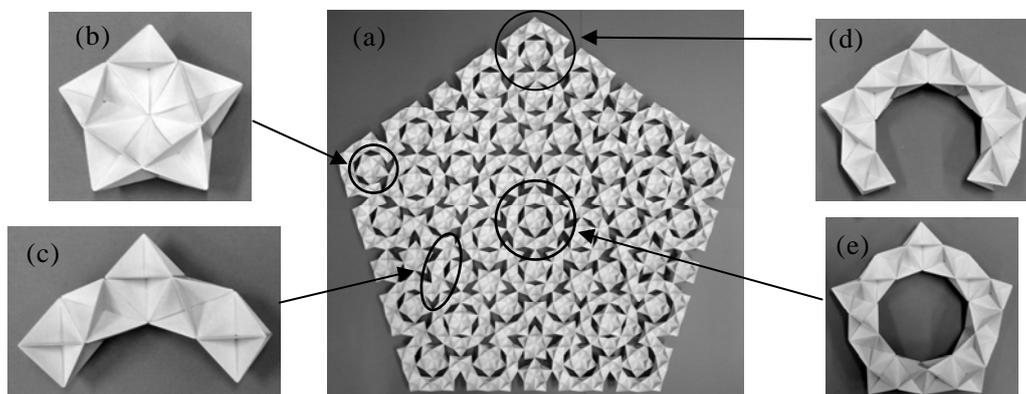


図 1 ペンローズパターンの折り紙モデル : (a) 板状構造と (b) - (e) 4 種類のクラスター

2. 正十二面体の折り紙モデル

八面体のスケルトン 80 個を、八面体の面と面を共有するように接続して、正十二面体構造を組み立てることができる。図2(a)-(c)に、正十二面体の折り紙モデルを、それぞれ、5 回軸、3 回軸、2 回軸に平行な方向から眺めた場合を示した。

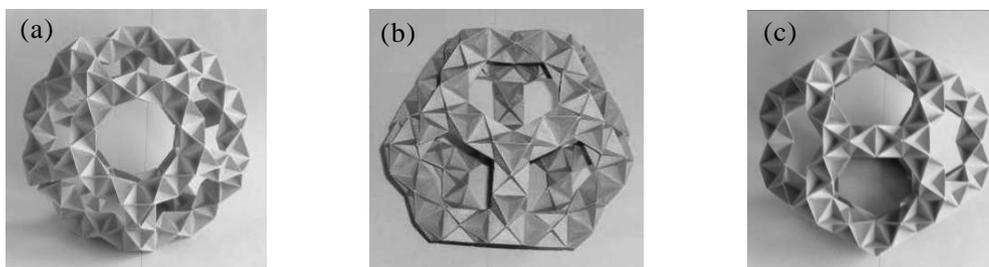


図2 八面体のスケルトンで作る正十二面体の折り紙モデル

正十二面体の折り紙モデルは、面を共有する3個の八面体のスケルトン(図3(a))を基本構造として組み立てられていると考えることができる。また、図3(b)に示すように、15個の八面体のスケルトンのリング2つが、30個の八面体のスケルトンの大きなリングを挟んで、2個の八面体のスケルトンを用いて、10箇所接続されてできていると考えることもできる。

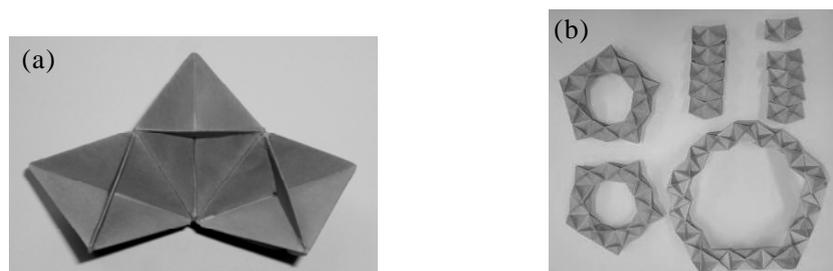


図3 八面体のスケルトンで作る正十二面体の折り紙モデル

3. おわりに

図3(b)に示した15個の八面体のスケルトンで形成されたリングは、ペンローズパターンの折り紙モデルを構成する4種類のクラスターの1つ(図1(e))であることが注目される。15個の八面体の2つのリングは、共に 5 回軸上に中心をもち、 36° 回転した、互いに平行な位置関係にある。この正十二面体構造を使って、ペンローズパターンの折り紙モデルが形成する板状構造を板面に垂直な方向に積み重ねることによって、新たな準周期構造が得られることが予想される。

無機化合物の結晶構造を配位多面体を作る網目構造で表現する方法を参考に、八面体のスケルトンを配位八面体とみなせば、折り紙モデルから予想される可能な準結晶の立体構造は、金属に限らず、誘電体や半導体の準結晶の可能な準周期構造を示唆している。

参考文献

- [1] 平賀賢二 (2003), 準結晶の不思議な構造 –アールスの森を散歩して–, アグネ技術センター.
- [2] 石原正三 (2010), ペンローズパターンの折り紙モデル, 第 69 回形の科学シンポジウム, 形の科学会誌 **25(1)**, 23-24.

美の幾何学 XII

次元際幾何学的情報交流の試み(1)

4次元球面を3次元有限領域に写像する試み

(そのまた1として) 4次元超球面の賞味法: 「(連動) 2球表現」あるいは「高次元平射図法」

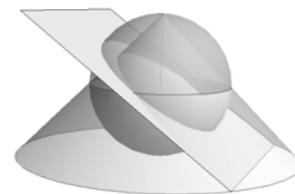
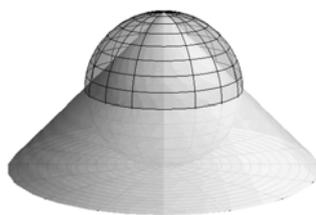
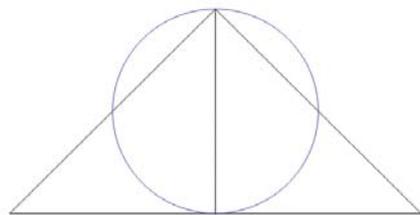
小川 泰

科学芸術学際研究所 ISTA, 産業技術総合研究所 (客員), 筑波大学 (名誉教授)

4次元超球面とは、4次元空間に存在する球の表面の意味で、数学者は3次元球と表現する。4次元正多胞体(正5胞体、正8胞体、正16胞体、正24胞体、正120胞体、正600胞体)それぞれの全頂点は、整列可能である。

我々3次元人の困難は、それを十分に表現伝達して相互理解に達することにある。その工夫について述べるのが、今回の目的である。「(連動) 2球表現」(球内部も含む)と名付けておく。ただし、諸例制作途上のため、どこまで間に合うかは、未定である。

世界地図は、球形とみなした地球表面を平面に写像した表現といってよい。その手法は複数あるが、4次元超球面を3次元空間に写像するには、その中で、等角写像の性質をもつ平射法(stereographic projection)が最適である。この手法は半球毎に2個の円内に写像するが、たとえば北半球図は、南極に視点をおいたもので、北極を中心におき、赤道が円周となる。これはよくみかける例であって、視点は対象領域に応じて決まる。



次元を高めると、極が球の中心で、赤道相当にある点は球の表面に来る。例を示すのに、4次元球面にすべての点が規則配置する正多胞体が適しているが、頂点数が多いものは、手間はかかっても、理解はしやすくなる。一方、データ数が最小のは4次元単体である正5胞体は頂点数が5と少なく、奇数なので、却って視点の選択等、表示法に工夫を要する。というのは、単一図に記載されるのは、対象点の半数なので、関連が見難くなる。ここでは視点を移動させての2枚絵連動方式を試みたい。視点の移動に伴ってある点が一方の図の端から他図に移動するような場合などを想定している。

とにかく、最終段階の例は作業中で未完成。更なる新アイデアも期待される段階なので、ここではあまり語りたくない。今回のシンポジウムでのテーマにも若干添えるある意味での動的表現も取り入れる予定である。最後に、関連する基本文献を挙げておく。

西村蹊二「地図作成の方法」 朝倉地理学講座3『地図学』中野尊正編のIII (1967刊)

Hilbert D. and S. Cohn-Vossen, *An Schauliche Geometrie* (1952)

同邦訳; 『直観幾何学』(ヒルベルト、コーン・フォッセン著、芹沢正三訳。1956年みすず書房)

2 等辺 3 角形が作りだす同素 4 面体 $2(n+2)$ 連結環状体

横 田 至 明

TAMA 市民塾、東京都八王子市明神町 2-12-15

e-mail: origmiken@gmail.com

Cyclo $2(n+2)$ allotropic-tetrahedrons made of isosceles triangles

Yoshiaki Yokota

TAMA college for citizen

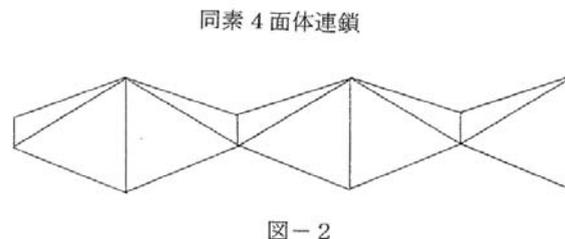
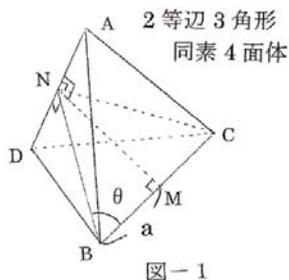
Abstract: Isosceles triangle making cyclo $2(n+2)$ allotropic-tetrahedrons,
is $a \times \sec 360^\circ / 2(n+2)$ in height, when it is $2a$ in base.

Keywords: cyclo-allotropic-tetrahedron, sec

1. はじめに / 2 等辺 3 角形の同素 4 面体 (合同な 3 角形で構成された 4 面体)

- ① この 4 面体で 4 つの 2 等辺 3 角形の底辺をなす 2 つの稜は、それぞれの中点を結んだ線分と直交する。またこの 2 つの稜は互いに 90° 行き違う位置関係にある。
- ② ①で示した稜を繋ぎ目とする 4 面体の連鎖は無数に作り出せるが、この連鎖の頭尾を接続してできる環状体は、4 面体が偶数個で 6 以上の連鎖、すなわち $2(n+2)$ 個の連鎖に限られる。(n は 1, 2, 3, ... 自然数)

では、一般に $2(n+2)$ 個の同素 4 面体で環状体を作り出す 2 等辺 3 角形とはいかなるものであろうか。これを明らかにすることが本論の趣旨である。



2. 2 等辺 3 角形の同素 4 面体で作られる環状体

まず、 $2(n+2)$ 個で環状をなす二等辺三角形の同素 4 面体を 1 つ取り出そう (図 - 1)。

4 面体 ABCD において $\triangle ABC \equiv \triangle DBC \equiv \triangle BAD \equiv \triangle CAD$, $AB = AC = BD = DC$, $BC = AD$, このとき BC, AD の中点をそれぞれ M, N とし, $\angle MBN = \theta$ とする。

① N は 2 等辺 3 角形 BAD における底辺の中点であるから $BN \perp AD$,

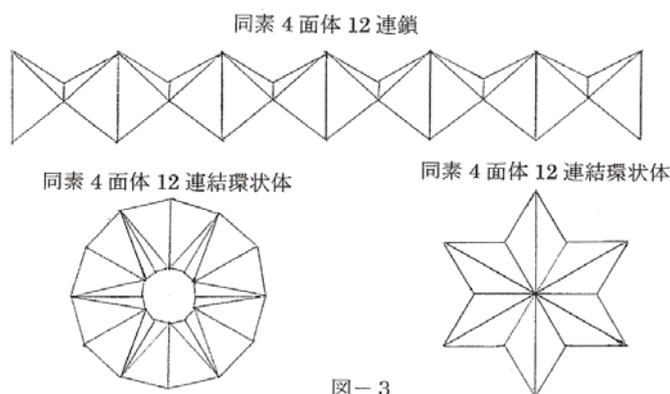
同様に N は 2 等辺 3 角形 CAD における底辺の中点であるから $CN \perp AD$ である。

このことは AD が $\triangle NBC$ の面に垂直であることを示し、また $\triangle NBC$ に含まれる NM および BC については $AD \perp NM$, そして BC は AD と 90° 行き違う位置関係にあることを示している。

② ①より奇数個の連鎖体は頭尾が 90° 行き違うため環を作らない(図-2)。したがって環状体は偶数個の頭尾を繋いで作る。但し 4 個以下では θ が 90° 以上となり同素 4 面体はもとより 2 等辺 3 角形すら成立しない。鋭角 2 等辺三角形の同素四面体の場合は、どの 2 面角も 90° 未満で 4 個以下なら環構成に不足、6 個以上で構成することとなる。

3. 同素 4 面体の連結環状体を作り出す 2 等辺 3 角形

- ① $2(n+2)$ 個の 4 面体連鎖が $n+2$ 箇所の縦の連結部を内側へ 0° に畳むと横の連結部が内側の 1 点に集まり環をなす。そのとき (図-1) の θ 角が 1 点を中心に $2(n+2)$ 個取り囲み 360° をなす構図となる。つまり $\theta = 360^\circ / 2(n+2)$ を示す瞬間の形をなす (図-3)。
- ② (図-1) において $\triangle NBM$ の $\angle NBM = \theta$, $\perp NMB$, $BM = a$ とするとき $NB/BM = \sec \theta$ となる。これは $NB = BM \cdot \sec \theta = a \cdot \sec \theta$ と整理される。
- NB は 2 等辺 3 角形の高さを表わしており、また $BM = a$ は 2 等辺 3 角形 ABC の底辺の $1/2$ を表わす値である。
- 従って求める 2 等辺 3 角形は、底辺 $2a$, 高さ $a \cdot \sec 360^\circ / 2(n+2)$ の 2 等辺 3 角形となる。



4. 同素 4 面体連結数と 2 等辺 3 角形

2 等辺 3 角形の底辺を 2 とすると、高さは 360° を 4 面体の連結数で割った角度の \sec 値となる。 \sec 値は三角関数表には直接出てこないが \cos 値の逆数として算出は容易だ。下表は例示

4 面体数 $2(n+2)$	6	8	10	12	20	30
sec	60°	45°	36°	30°	18°	12°
高さ	2	1.414	1.236	1.154	1.051	1.022
底辺	2	2	2	2	2	2

5. 補足

- ① 2 等辺 3 角形同素 4 面体連結環状体は外から内へ (内から外へ) と回転する。
- ② 4. で取り上げた 2 等辺 3 角形の底辺を 2 としたときの高さ (h の値) は最小値を示したもので、この値以上の高さをもつ 2 等辺 3 角形であれば同素 4 面体連結環状体を作ることができる。一般に 2 等辺 3 角形同素 4 面体 $2(n+2)$ 連結環状体は、底辺を $2a$ とするとき高さが $h \geq a \cdot \sec 360^\circ / 2(n+2)$ の 2 等辺 3 角形であれば作ることができる。

注) 同素 4 面体: 合同な 3 角形で構成される 4 面体を表わす。

著者 (素子造形家) の造形用語で、同一素子で構成される多面体を同素多面体とよぶことから名づけた。素子は 3 角形を基にした 2 連型の組素子で著者の作図法に従えばあらゆる 3 角形を組素子にできる。その 3 角形に固有な同素多面体を見つけ出せるのは幸せなことだ。

縄文土器の文様と縄の特性

高木隆司¹、植田 真²

¹神戸芸術工科大学デザイン学部, 〒651-2196 神戸市西区学園西町 8-1-1 takaki-r@kobe-du.ac.jp

² (株)パスコ研究開発センター, 153-0043 東京都目黒区東山 2-8-11 maadke5516@pasco.co.jp

Patterns on Jomon Potteries and Characteristics of Ropes

Ryuji Takaki¹, Makoto Ueda²

Abstract: An experiment of making rope patterns on clay plates was made and some geometrical properties of the patterns were measured. A mathematical analysis is made of the angles between lines of patterns and the direction of rolling of ropes. In the experiment and analysis two kinds of ropes are considered, a wound rope and a squeezed rope.

Keywords: Jomon pottery, Rope pattern, Rope making, Pitch angle

1. はしがき

多くの縄文土器には、縄を転がして施文された装飾紋様が施されている(図1参照)。この紋様は、転がす方向とある角度をもつ平行な多数の線(条とよぶ)からなる。さらに、1本の条は、楕円形に近い小さな凹み(節とよぶ)の連なりでできていて、楕円の長軸が転がす方向からある一定の角度をなしている。本研究の目的は、これらの角度の測定、およびその理論的な検証である。

縄文パターンを紹介や、実験的再現については、文献を参照された[1], [2], [3]。また、本研究の著者らによる予備的な実験について本年2月開催の形シュールで[4]、実験の詳細について5月の日本考古学会で発表した[5]。

まず、縄には2種類あることを仮定する。1つは、縄の材料である紐(0段の縄)を、互いに線接触するように巻きつけるもので、「巻きつけ縄(記号M)」と呼んでおく(図2(a))。このとき、紐をねじって硬くすることにより、自然に起きる作用で巻きつける。他の一つは、紐を巻きつけた後、さらに強く締めつけて撚りを加えるもので、「締めつけ縄(記号S)」と呼んでおく。締めつけ縄では、紐の一部がつぶれて面接触になり、縄の中心軸付近は空間を完全に充填している(図2(b))。1段目の縄から2段目の縄を作るときも、同様の操作により、巻きつけ縄、締めつけ縄をつくる。例えば、1段の縄が締めつけ縄、2段が巻きつけ縄のときは、MSという記号を与える。1段上の縄を作るときは、普通は、下段の縄と逆のカイラリティを与える。

2. 実験方法と結果

直径1-2mmくらいの和紙のコヨリ2本を撚って1段目の縄をつくり、さらに1段の縄2本から2段目の縄を4種類作った。それらを粘土板の上で転がし、条や節の方向と転がす方向との角度を測定した。図3は、4種類の縄と施文の例である。節の形は、2条ごとに同じ形が現れるので、それらの位置から転がす方向と、1回転の移動距離がわかる。図4は、角度の測定結果である。

3. 条と節の角度の理論的導出

条の角度は、図2に示したピッチ角 ϕ がわかれば、次のような仮定を置くことにより求まる。

仮定1: 縄の直径を D とすると、縄は一回の回転で πD だけ移動する。1段の縄の半径を R とすると、 $D=4R$ である(図5(a))。これから次式を得る。



図1. 中期縄文土器の縄目パターン。(多摩ニュータウンNo.9)

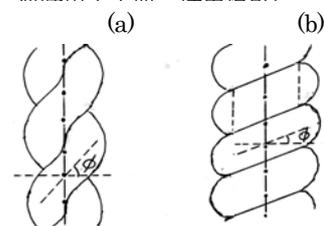


図2. (a)巻きつけ縄(M)、(b)締めつけ縄(S)。 ϕ はピッチ角。

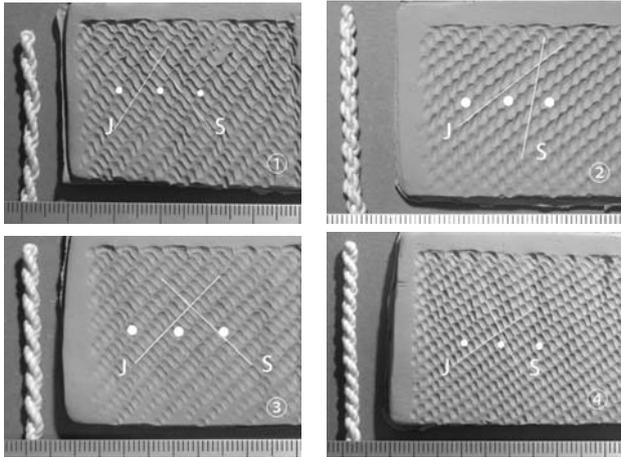


図3. 4種類の縄による施文の例。3個の白い点は、同じ形の節を示し、それをつなぐと転がす方向になる。J、Sは条、節の方向を示す。①：MM、②：SM、③：MS、④：SS

$$\tan \beta = 2\pi R (\tan \phi) / 4\pi R = \tan \phi / 2.$$

仮定2：巻きつけ縄では、1段の縄は断面が円形のまままで曲がる。ただし、中心軸の曲率半径が決まらない

ので、可能な限り強く曲げると仮定すると、図5(b)に示すようにその中心軸は曲率半径 $2R$ をもつ。半径 R 、ピッチ $\alpha (= \tan \phi)$ のつるまき線の曲率半径は $R(1 + \alpha^2)$ で与えられるので、曲率半径が $2R$ のとき、 $\alpha = 1$ ($\phi = 45^\circ$)、 $\beta = \tan^{-1}(1/2) = 26.57^\circ$ となる。

仮定3：締めつけ縄では、前段の縄の内側半分がつぶれて、図2(b)のように空間を充填している。すると、多少の計算ののち、 $\phi = 19.38^\circ$ 、 $\beta = 13.2^\circ$ となる。

節の角度は、1段、2段の縄のピッチ角 ϕ_1 、 ϕ_2 を用いて $90 - \phi_2 + \phi_1$ であることが導かれる。

4. 議論

上に求めた条の角度の理論値は、巻きつけ縄 (MM、MS) の方が締めつけ縄 (SS、SM) に比べて大きいという傾向は測定値と一致しているが、測定値に比べて約 $20 \sim 30^\circ$ くらい小さい。その理由について考察する。

第1に、粘土板上で縄を転がすとき、仮定1が成り立たず、縄と粘土の間のすべりが起きて、転がり距離が減少した可能性がある。そうすると、 β は大きくなる。第2に、巻きつけ縄で、前段の縄の曲率半径が仮定2にしたがって $2R$ になると (図5(b))、その左端の側面は縦方向に $1/2$ 倍に縮み、右端の側面は $3/2$ 倍に伸びる。このような大変形はコヨリの材料では期待できないので、巻きつけ縄のピッチ角は 45° より大きくなるであろう。2段目の縄では、1段目の縄という硬い材料を曲げるので、巻きつけ縄と締めつけ縄の両方について、ピッチ角と β はさらに大きくなるであろう。

節の角度の理論値は、MMあるいはSSの場合 ($\phi_2 = \phi_1$) 90° になり、MSあるいはSMの場合 90° 以下あるいは以上となる。この結果も測定値とは完全に一致していないが、MMとSSでの値が同じ程度になること、SMではそれより大きく、MSではそれより小さくなるという傾向は測定値と一致している。

今後は、縄の生成過程について、もっと注意深い考察が必要である。

参考文献

- [1] 山内清男：「日本先史土器の縄紋」，先史考古学会，1979
- [2] 佐原 真：「縄文施文法入門」(「縄文土器大成3、後期」，講談社，pp.162-167, pp.193-199, 1981
- [3] 可児通宏：「縄文の施文原体と文様」『総覧縄文土器』，(株)アム・プロモーション pp.965-980、2008
- [4] 高木隆司、植田 真：「考古学パターンの数理解析—縄文土器文様について」，形の科学会誌，**25**，3号，pp.241-242, 2010
- [5] 植田 真、高木隆司：「回転縄文の基礎的研究」，日本考古学会 2011 年度総会・大会，国学院大学，5月29日，2011

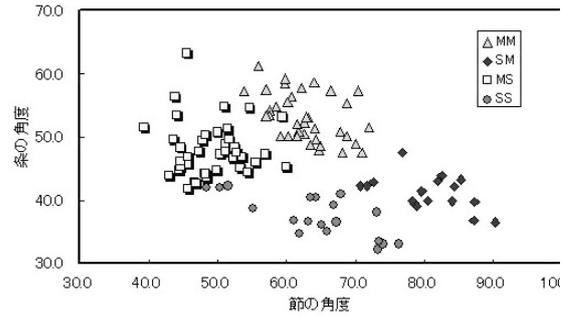


図4. 4種類の縄による条、節の角度の分布。

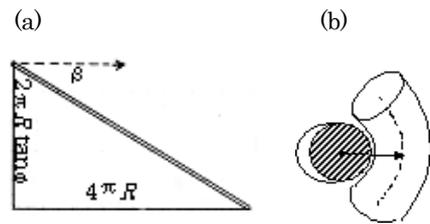


図5. (a) 条の角度 β の決定、(b) 巻きつけ縄について、前段の縄の中心軸が曲率半径 $2R$ をもつ。

巣と餌場を結ぶ人工経路を用いたアリの経路選択挙動の研究

○平山 修, 姜澤隼也, 石渡信吾¹

東京農工大学工学部, 〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

¹横浜国立大学工学研究院, 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

E-mail: hrym@cc.tuat.ac.jp, s-iswt@ynu.ac.jp

Study of ants' way of choosing paths in artificial grids between their colony and a feeding source

Osamu Hirayama, Syunya Shibosawa, Shingo Ishiwata

Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa 240-8501, Japan

Key Words: ant, colony, feeding source, artificial grids, experiment, pheromone

1.はじめに

アリの集団が巣と餌場の間を往復する場合に、単体のアリは先発のアリが残したフェロモンの残留量の多寡に従って確率的にルートを選ぶという単純なアルゴリズムに従って行動しているにすぎないが、集団全体としては徐々に最短の経路が形成されてゆき、最終的にはほとんどのアリがこの経路に沿って移動するようになる[1]。創発と呼ばれるこのような現象は近年多くの研究者の関心を集め、盛んに研究が行われている[2]。しかしながら、このメカニズムについてはまだ明らかにされていない面もあると考えられる。そこで、本研究では、アリの巣と餌場を正方格子状の人工経路で連結し、アリが通過するノード数の時間変化の傾向や複数存在する最短経路のうちどの経路が選択されやすいかなどを調べる実験を行った。さらに、アリの行動をモデル化したシミュレーションを行い、実験の結果と比較した。

2. 実験装置および方法

透明アクリル板上に 32mm×32mm×高さ 15mm の木片 25 個および外枠の木片を接着し、その上からもう 1 枚のアクリル板を接着して、200mm×200mm×高さ 15mm のサイズの人工経路を作成した。この一端にアリの巣を、他端に餌を入れたケースをアクリルパイプ (外径 9mm・内径 7mm) で接続し、実験装置とした (図 1)。実験には飼育しているクロオオアリ約 600 匹を用いた。平均して約 20 秒間に 1 匹の割合でアリを経路に送り出し、アリが経路を移動する様子をビデオカメラで撮影した。撮影時間は数 10 分である。画像から、各アリの人工経路への進入時刻、アリが通過した経路、通過したノードの個数 (以下、ノード数と呼ぶ)などを求めた。

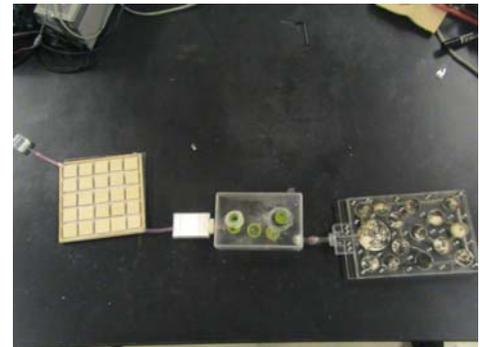


図 1. 実験装置

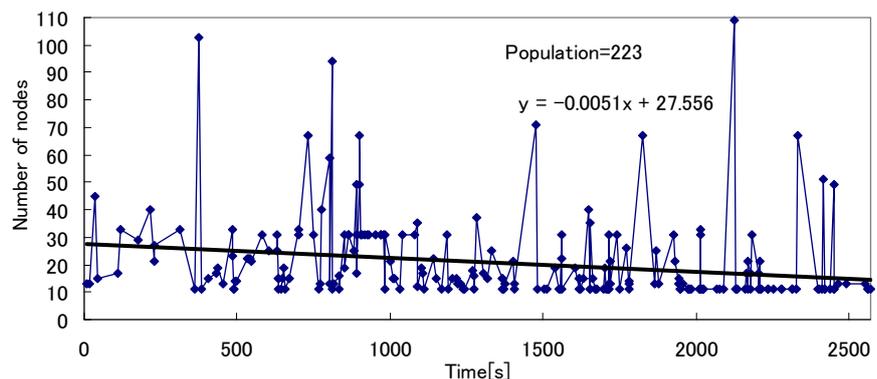


図 2. 経路進入時刻とノード数の関係

3. 実験結果

実験は5回実施した。図2に個体数が223の場合の人工複数経路における経路進入時刻-ノード数の関係を示す。時間経過に伴ってノード数が減少する傾向があることがわかる。また、図3に、複数ある最短経路（ノード数11）に対するアリの進入時刻を示す。横軸の番号1.2.3.4は外周部を通る最短経路の経路番号であり、以降の番号は内部を通る最短経路を示す。ルート分岐路が多い内部の経路より外周部の経路が選択されやすいことが分かる。

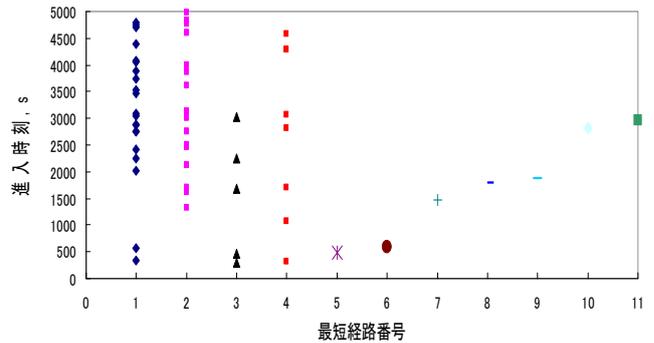


図3. 各最短経路の選択状況

4. シミュレーションのアルゴリズムおよび結果

上記の実験に対応したシミュレーションを行った。アルゴリズムは下記の通りである。アリは1匹ずつ巣または餌場をスタートし、1タイムステップに1格子間距離ずつ進みながらゴールを目指す。1匹のアリの移動が完全に終わった後、しばらく時間が経ってから次のアリが出発する。アリが各ノードを通過した場合には、そのノードにおけるフェロモン値を一定量だけ増加させる。アリの四方の

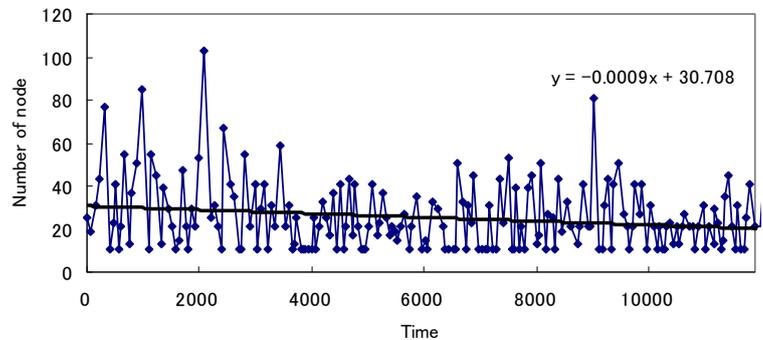


図4. 経路進入時刻とノード数の関係

ノードへの進行確率は、フェロモンが存在しないとした場合の直進確率 prF 、後退確率 prB 、右折確率 prR 、左折確率 prL に、隣接した四方のノードのフェロモン値に比例した増加分を考慮して決定される。また、フェロモン値は時間とともに指数関数的に減少する。個体数=200, 平均の出発時間間隔=10, $prF=0.87$, $prB=0.02$, $prR=0.06$, $prL=0.05$, フェロモン揮発係数 $\gamma=0.001$, フェロモン値の増加量=0.5の場合に得られた経路進入時刻-ノード数の関係を図4に示す。実験の結果(図2)と同じ傾向があることが分かる。

5. 結論

フェロモンをトレースすることの効果のみを考えると、図2の経路進入時刻とノード数の関係は説明できるが、図3の外周部の最短経路が選択されるという結果は説明することができない。一方、アリが後退、右折、左折よりも直進する確率が圧倒的に大きいこと(直進性)のみを考えると、図3の結果は説明できるが、図2の結果は説明することができない。これらのことから、正方格子状の人工経路内の経路選択挙動を説明するには、フェロモンの効果と直進性の両方を考慮することが必要であると考える。

参考文献

- [1] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni (1996), The ant system : optimization by a colony of cooperating agents, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, **26**, 2, 29-41.
- [2] スティーブン・ジョンソン(2004), 創発, ソフトバンクパブリッシング

化学反応によって駆動される液滴運動

北畑 裕之^{a,b}、義永那津人^c、永井健^d、住野豊^e^a千葉大理、^bJST さきがけ、^c京大福井センター、^d東大理、^e愛知教育大教育
千葉市稲毛区弥生町 1-33

kitahata@physics.s.chiba-u.ac.jp

Droplet motion driven by chemical reactionHiroyuki Kitahata^a, Natsuhiko Yoshinaga^b, Ken H. Nagai^c, Yutaka Sumino^d^aChiba Univ., ^bJST PRESTO, ^cKyoto Univ. ^dUniv. of Tokyo, ^eAichi Univ. of Education
1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

Abstract: We propose a theoretical framework for the spontaneous motion of a droplet coupled with chemical reaction inside the droplet. The nonlinearity of the chemical reaction gives rise to inhomogeneous concentration profile, which leads to interfacial tension gradient on its surface. The interfacial tension gradient induces self-propulsion of the droplet itself through the surrounding flow due to the Marangoni effect. Numerical calculations for the dynamics on the concentration profiles inside the droplet together with theoretical results on the flow fields at low Reynolds number well reproduce the experimental results obtained using a droplet of Belousov-Zhabotinsky (BZ) reaction medium.

Keywords: spontaneous motion, interfacial tension, Belousov-Zhabotinsky reaction, reaction-diffusion system, Marangoni effect

アクティブマターと反応拡散系 非平衡開放条件下では、液滴や物体が界面張力のバランスを自発的に破りながら運動することが可能であり、われわれはそのような自発運動や対流現象について研究を進めてきた。具体的には、水-樟脳系[1]、水-油-界面活性剤系[2]、水-アルコール系[3]などがあげられる。このような界面張力により駆動される自発的運動は、界面張力勾配や Marangoni 対流、液滴の変形などにより引き起こされている。他方、非平衡開放条件下において、均一な定常状態が不安定化し自発的に時間的・空間的パターンが形成される現象も広く研究されてきた。その中で最もよく知られているものの一つに Belousov-Zhabotinsky(BZ)反応[4]がある。この BZ 反応は、数種の物質を混合するだけの簡単なものであるが、攪拌条件下では周期的な色の変化を呈し、溶液を静置しておくターゲットパターンと呼ばれる同心円状のパターンやスパイラルパターンと呼ばれるらせん状のパターンを自発的に作り出すことで知られている。またこの反応は数理物理学的に反応拡散方程式を用いてうまく説明される。このような非平衡開放系は生物との関係で議論されることが多いが、生物の運動を考えると、アクティブマターとしての要素が反応拡散系のようなパターンによって制御されていると考えるのが自然である。最近になって、生物が運動する際に細胞内の物質の分布が反応拡散系で表されるようなパターンを示す実験結果も報告された[5]。そのような中で、反応拡散系で表されるようなパターンと運動がどのように結合されているのかを知ることは重要な課題の一つである。

界面張力に駆動される液滴の運動：Stokes 近似 上に述べたようなアクティブマターと反応拡散系という二つの枠組みをつなぐ試みとして、われわれは液滴内の自発的パターン形成と液滴自体の重心運動が結合するようなモデル系を提案した。これは BZ 反応の溶液を液滴として油の表面に浮かべたときに自発的に動く系[6] (図 1(a)) を理想化したものである。すなわち、パターン形成は反応拡散移流系で記述され、そのパターンを構成する化学物質の濃度が界面張力を変化させることにより、Marangoni 効果を介して液滴内外の対流構造を生み出すとともに液滴の運動を駆動する。液滴の運動が十分遅いと仮定することにより、界面張力プロファイルを決めれば液滴の運動が一意的に決まるため、パターンの結合と運動をうまくつなげて議論できる[7]。界面張力が非一様な液滴について、その液滴内外での流れが十分に遅いとして Stokes 近似のもとで流体力学的に取り扱うことを試みた。具体的には、任意の界面張力勾配を与えた液滴において、対流が生成し、その対流によりどのような運動が引き起こされるかについて解析した。具体的には、Reynolds 数が小さいとして Stokes 方程式

$$\eta \nabla^2 \mathbf{u} - \nabla p = 0$$

(\mathbf{u} は流速、 p は圧力、 $\eta^{(i)}$ 、 $\eta^{(o)}$ は液滴の内部および外部の流体の粘性係数) で近似する。さらに液滴の形は球形を保ち、等速で液滴が運動していると仮定すると、液滴内外の流れ場の一般解は重調和関数を用いて求められる。液滴の表面に界面張力の勾配があるとして境界条件を適用すると、液滴自体の運動速度が得られる。今、界面張力 γ は極座標で表した時の極方向からの偏角 θ のみの関数であるとする、液滴は極を結ぶ軸の方向に運動し、その速さ u は

$$u = -\frac{2}{3(3\eta^{(i)} + 2\eta^{(o)})} \Gamma_1$$

ただし、

$$\Gamma_1 = \frac{3}{2} \int_0^\pi \gamma(\theta) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \quad \left(\gamma(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma_n P_n(\cos \theta) \right)$$

と求められる[8]。ただし、 $\eta^{(i)}$ 、 $\eta^{(o)}$ は、それぞれ液滴の内外の粘性係数である。

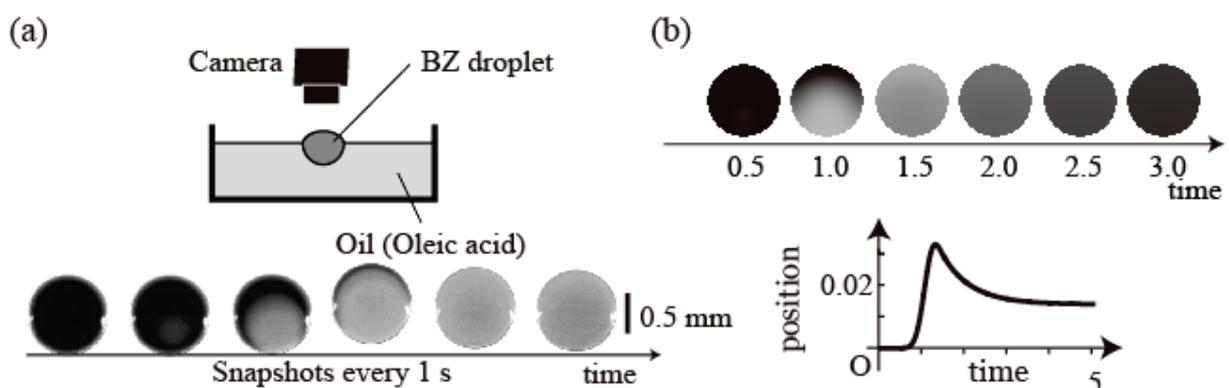


図 1 : (a) オレイン酸中での BZ 反応液滴自発的運動の実験結果。オレイン酸に浮かべた BZ 反応溶液の液滴は内部での化学波の伝播と結合して運動する。(b) Oregonator モデルによる数値計算と Stokes 近似による液滴の運動速度から計算した BZ 反応液滴の運動の数値計算結果。実験結果とほぼ一致する。

液滴の運動の実験：BZ 反応液滴の運動 BZ 反応の色の変化は酸化状態と還元状態の違いに対応する。さらにその 2 状態で界面張力が変化することが知られているため、上に述べた議論を適用して運動を議論することができる。BZ 反応のモデル式としては、Oregonator と呼ばれる微分方程式が時間発展をよく表すことが知られている。そこで、液滴内での化学反応を Oregonator モデルを用いて計算し、そこから液滴の運動速度、位置の変化を計算した。その結果、実験と定性的に一致するような結果が得られた (図 1(b))。このような枠組みを元に、液滴内部のパターンと液滴の運動や変形との関係性についてより普遍的な議論を深めていきたいと考えている。

参考文献：

- [1] H. Kitahata, S.-i. Hiromatsu, Y. Doi, S. Nakata, and M. R. Islam, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **6**, 2409 (2004).
- [2] Y. Sumino, N. Magome, T. Hamada, and K. Yoshikawa, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 068301 (2005).
- [3] K. Nagai, Y. Sumino, H. Kitahata, and K. Yoshikawa, *Phys. Rev. E* **71**, 065301 (2005).
- [4] A. N. Zaikin and A. M. Zhabotinsky, *Nature* **225**, 535 (1970).
- [5] M. G. Vicker, *Biophys. Chem.* **84**, 87 (2000).
- [6] H. Kitahata, R. Aihara, N. Magome, and K. Yoshikawa, *J. Chem. Phys.* **116**, 5666 (2002).
- [7] H. Kitahata, N. Yoshinaga, K. H. Nagai, and Y. Sumino, arXiv:1012.2755v1 [cond-mat.soft].
- [8] M. D. Levan, *J. Colloid. Interface Sci.* **83**, 11 (1981).

渦・波動・不安定性

青木 圭子

東邦大学 理学部
〒274-8510 千葉県船橋市三山 2-2-1
keiko.aoki@sci.toho-u.ac.jp

Vortices, Waves and Instability

Keiko M. Aoki

Toho University

Miyama 2-2-1, Funabashi, Chiba 274-8510, Japan

Vortices and waves are generally related to fluids. However under certain circumstances, they can also be observed in granular materials. Vortices and waves, in both fluids and granules, are discussed in connection with instability.

Keywords: Fluids, Granules, Computational physics

渦と波は、身近によく目にする典型的な流体の現象である。しかしながら、砂粒のような離散的な系でも、条件によっては、渦を作ったり、波立たせたりすることができる。

図1は、流体が円柱を通り過ぎるときに後方にできるカルマン渦を示したものである。

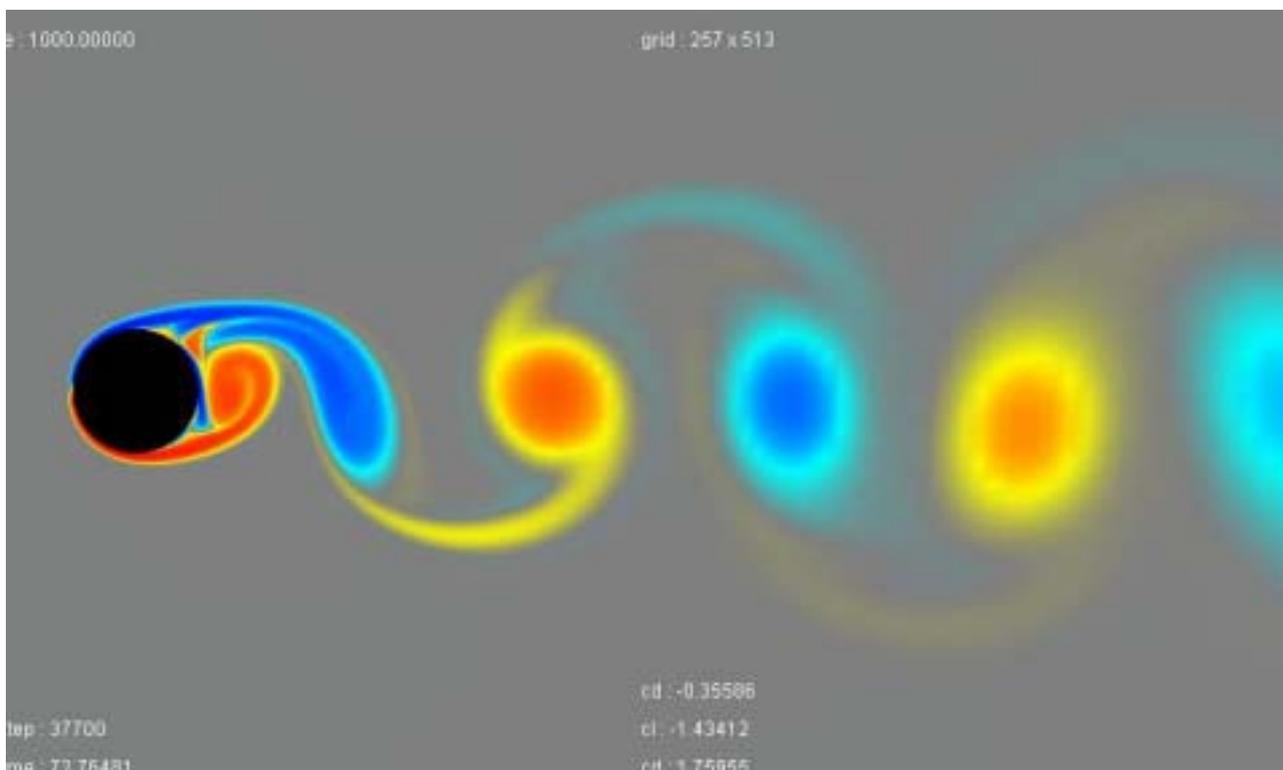


図1: ナビエ・ストークス方程式を解くことによって得られたカルマン渦 [1]

こうした渦のゆらぎは、音波を発生させる。強い風によって電線が鳴るのは、カルマン渦が原因である。つまり、渦が「音」という波動を作り出すのである。
本講演では、流体と粉粒体、それらにおける渦と波動と不安定性の関係について議論する。

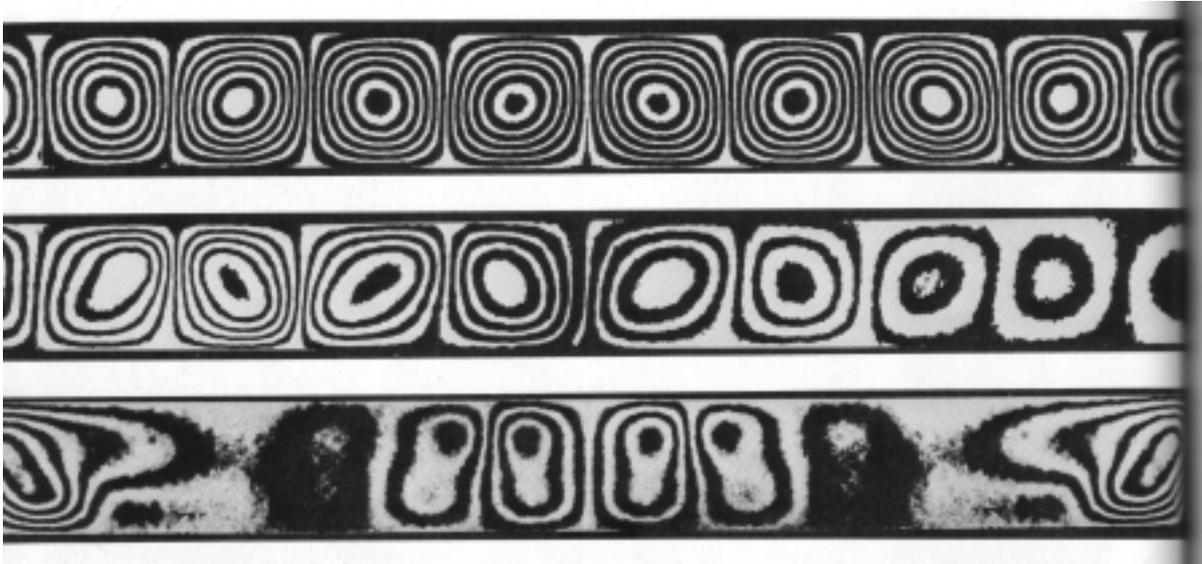


図2: 熱対流によってできる渦 [2]

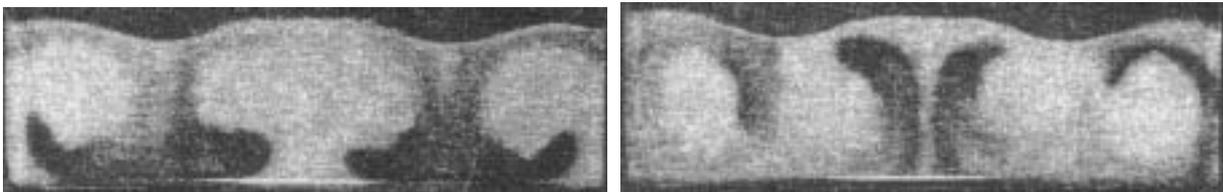


図3: 粉体振動層にできる渦 [3]

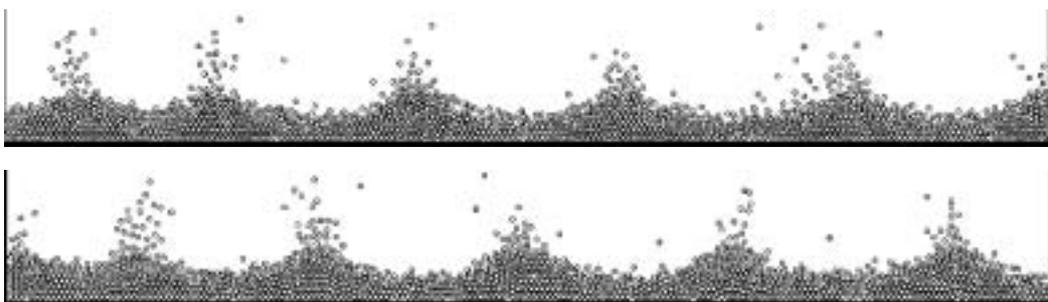


図4: 粉体振動層にできる波 [4]

参考文献

- [1] iCFD, 流体解析ソフトウェア Nagare
- [2] M. Van Dyke, Album of Fluid Motion, p. 82 (1982, The Parabolic Press)
- [3] K. M. Aoki, T. Akiyama, Y. Maki, T. Watanabe, Phys. Rev. E 54, 874 (1996)
- [4] K. M. Aoki and T. Akiyama, Phys. Rev. Lett. 77, 4166 (1996)

金平糖とその類似構造

中田友一

中京大学国際教養学部

〒466-8666 名古屋市昭和区八事本町 101-2

tnakata@lets.chukyo-u.ac.jp

The Growth Process of Konpeito

Tomoichi Nakata

Chukyo University

Department of International Liberal Studies

Abstract: We will discuss the structure of Konpeito(sugar candy), then discuss the similar structure Gallstone, Kidney stone, and Nickel.

Keyword: Konpeito, Growth Process, Growth Structure, Crystal Growth

金平糖の生成過程と同様な構造は、身の回りにいくつもある。しかしそのメカニズムの何処に類似性があるのかは、なかなかハッキリしていない。ここではそうした構造の類似性について触れる。次にコンペイトウという名前について関連する事柄について報告をする。最後に金平糖の研究モデルについて的一端を紹介する。(*4,*5)

1. 金平糖の生成過程(*2)

まずお菓子の金平糖の製造過程を簡単に述べてみる。直径2m位の浅い鉄のタライを下からガスで熱し(50度)て、タライを約30度位に傾けて、ゆっくりタライを回転させる。グラニュー糖を60kg タライに入れる。タライの上1m位の処に、濃度(水:砂糖=1:2)を濃く温めた(70度)砂糖水を箱にいれて、10個ほどの均等に小さい穴のあった管から微量(約0.1g)ずつタライの中へ落下させる。落ちた砂糖水は一部を濡らすとすぐに乾いてしまう。この過程を続けるとグラニュー糖の小さな粒子がしだいに大きく成長し角が出てくる。直径7mm位の大きさになるのに、一日8時間稼働し4日か5日、2cmの大きさになるのには10日くらいかかる。初期のグラニュー糖60kgに対して約6倍の360kgの金平糖が出来上がる(名古屋市内の春日井製菓工場)

この製造過程を見ていると4つの特徴がある。まず第1にその成分が砂糖であるという事である。第2に糖蜜(しずく)の量である。糖蜜の量が少ないと成長が遅いしなかなか角が出来ない。多いと成長が早い角は余り大きくなり球形になってしまう。第3にタライの回転速度であるが、回転を速めると角は消えてしまうし、余りにゆっくりだと、しずくが拡散されず成長が遅くなってしまふ。第4にタライを温める熱であるが、熱すぎるとグラニュー糖の粒子は溶けてしまふ。適度な温度が粒子運動に活発性を与えるのである。

この条件をキーワードとしていろいろな金平糖の類似構造を眺めてみる。

2. 胆石の金平糖(*1)

胆嚢は奇しくも直立した人体と地面を考える約30度に傾いており、さらに風船が拡大したり収縮したりするような運動を繰り返している。毎朝新しい胆汁ができて胆嚢の中に入ってくる。この古い胆汁と新しい胆汁の接平面に、ある時突然に胆石の種石が析出する。これは2つの胆汁の濃度比が問題であり、析出の問題とも関連している。

4条件に合わせてみると第1はビリルビンと言う鉄分が成分として出てくる。これがもしコレステロールが多いもの場合は金平糖状にならず、球状になるのである。

第2は糖蜜に対応するもので、これは毎朝の新しい胆汁である。胆汁の濃度がストレスによって変化してくるのである。そして新旧の胆汁の濃度比により出来た種石に毎日新しい胆汁の中のビリルビンという成分が、種石に付着して成長していく。

第3は回転運動に対応するのは収縮運動である。約30度に傾いており収縮運動をすることから胆石の種石は胆嚢の中で運動している。第4は温度であるが、人間の体温が36度と一定に保たれている。

3. 尿路結石の金平糖

泌尿器科学領域での金平糖尿路結石はジャックストーン結石と呼ばれており、その多くの報告はシュウ酸カルシウムからなっている。膀胱結石は通常卵円形のものが多いが、なぜジャックストーン結石のような形が出来るのかは明らかではない。

藤田潔氏の論文（臨床泌尿器か48巻1994年）の中では次のように述べられている。「前立腺肥大症が結石形成の主な原因であり、排尿困難による残尿の存在で結石が成長するスペースが大きく取れる為、シュウ酸カルシウム血漿が基質（マトリックッス）と共に自由に大きく伸びていったのであろう。」また京都大学医学部泌尿器科寺井章人氏との議論によれば、これは細菌が尿中の尿素を分解することが原因で生ずる「感染結石」であり、結石生成のもとである尿、回転運動、体温の3条件はいずれも満たされているという。

4. ニッケルの金平糖(*3)

電気分解では電解液に陽極板と陰極板を浸し、これらの電極の間に電流を流すと陰極板の上に純金属を析出させる事が出来る。さらに新しい方法は、陰極板の近くに金属粒子を懸濁させ、この金属粒子の表面に金属を析出させる懸濁電解法である。一般には懸濁状態での粒子の表面で均等に析出が起こるので成長した粒子は球形になる。ところが球形にならず直径2mmサイズのニッケルの金平糖が出来たというのが、亀谷氏の報告である。ここではニッケルの金平糖は陰極板上のニッケル粒子の中で陽極に近い粒子の角の先端に電流が集中して金属析出が起こり、このため角が成長すると考えられると解説されている。この場合も極板の温度が高すぎると種（タネ）粒子まで説けてしまい、低いと球形のまま大きくなる。そして槽電流が高すぎるとニッケル粒子はお互にくっついて板状になってしまう、低すぎると角は出来ず球形に成長する。亀谷氏の書簡によれば「はっきり金平糖

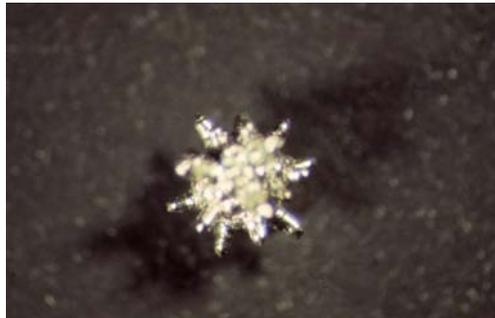
になったのはニッケルだけで、銅や鉛はイガ栗状の細い突起が多数ありました。電解条件により球形、イガ栗、金平糖と、形はさまざまに変わる。この点で懸濁電解は金平糖の生成条件を調べるのに適している」とある。ここでも4条件を考えると、ニッケル、懸濁水内のイオン、陰極を動かす動かし方、熱板の温度がうまく対応している。

成長過程

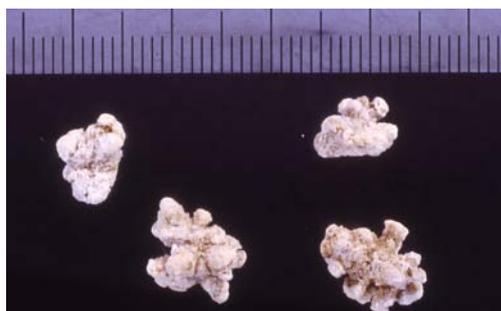


尿路結石

ニッケル



胆石



5.類似構造

	成分	しずく	回転	熱
金平糖	グラニュー糖	糖蜜	回転運動	ガス50度
ニッケル	ニッケル	懸濁水	プレート運動	熱板の温度
胆石	ビリルビン	胆汁	収縮運動	体温
尿路結石	シュウ酸 カルシウム	尿	収縮運動	体温

6. 参考文献

1. 谷村 弘「胆石の謎」悠飛社 2004
2. 中田友一「おいコンペーター」あかね書房 1990
3. Kametani.,U, Yamauchi.C :Suspensions-elektrolyse von Nickel mit Hilfe einer Schwingzelle. Sonderdruck aus Zeitschrift ERZMETALL,27,3,107-114,1974
4. Murai,N. Nakata,T Rounded Spikes of Konpeitoh and scaling relations. American Journal of Physics.56,5,459-462,1988
5. Sakai.I,Hayakawa.Y-J.Phys.Soc.Jpn.75.2006.104802.

バクテリアのコロニー形成—実験とモデル化—

松下 貢

中央大学・理工学部、東京都文京区春日 1-13-27

matusita@phys.chuo-u.ac.jp

Colony formation in bacteria — experiments and modeling —

Mitsugu Matsushita

Department of Physics, Chuo University

1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, JAPAN

Abstract: We present experimental results of colony formation of bacteria and argue modeling attempts for them. The growth behavior really reminds us of the formation of human colonies such as villages, towns and cities. We have established the morphological diagram of colony patterns, and then examined and characterized both macroscopically and microscopically how they grow.

Keywords: bacteria, colony, pattern formation

生物体は複雑系の典型であるが、その集まりの集団的な振舞いだけに注目する場合には、個々の生物体の最も重要な特徴は増殖と運動であると考えられる。確かに彼らは大まかに言って適当な環境の下で増殖し、能動的に動き回るといった共通の特徴をもつ。このようにみると、バクテリアのコロニー形成から人間の村落あるいは都市形成に到るまで、共通した側面が見えてくる。ここでは、個々の振舞いから集団行動まで実験室内で適当な時間内に容易に実験し観察できる例としてバクテリアを取り上げ、その集団的な振舞いを非線形非平衡系でのパターン形成として議論する。

適当な栄養源を含む寒天培地上にごく少数のバクテリアを接種し培養しただけで、彼らは成長・増殖を続け、最終的には非常に多数のバクテリアからなる巨視的なコロニーが形成される。これらのコロニーはバクテリアの種によってサイズ、形や色が異なっている。さらに、温度、栄養の豊富さや培地の固さなどの環境条件の違いによってコロニーの形態が様々に変化する。このことは、普通には単細胞の典型例と言われているバクテリアの多細胞的生存戦略を強く暗示する。¹⁾

コロニーを構成するバクテリア細胞は能動的運動をし、強く相互作用をし、かつ自己増殖する“粒子”と見なすことができる。この振舞いは従来の物理・化学系でのパターン形成をになう構成要素（原子・分子など）のそれと大いに異なる。これがコロニーの成長パターンの多様性の源であり、バクテリア・コロニーの成長はパターン形成の宝庫であるということが出来る。また、バクテリアは増殖し運動する生物集団の振舞いを調べるためのプロトタイプな系と見ることも可能である。

我々のこれまでの研究によると、自然界にごく普通に生存する枯草菌 (*Bacillus*

subtilis)について、環境条件として寒天培地中に仕込んだ栄養の濃度と培地の固さ(寒天そのものの濃度で調節)の2つの量を変えただけでコロニーパターンが様々に変化することが見出された。^{1,2)}最後に掲げた図がその結果であって、観察された特徴的なパターンを列記すると、自己相似フラクタルであるDLAパターン(領域A)、全体としてはコンパクトであるけれども成長界面が自己アフィン・フラクタルなEden的パターン(領域B)、同心円状パターン(領域C)、一様等方なディスク状パターン(領域D)、枝分かれの密なDBMパターン(領域E)である。これらは図のモルフォロジー・ダイアグラム上で再現性よく得られるので、突然変異のせいではない。興味深いのは、これらのパターンのいくつかは物理化学系でもしばしば見られることで、普遍的パターンの存在を暗示する。

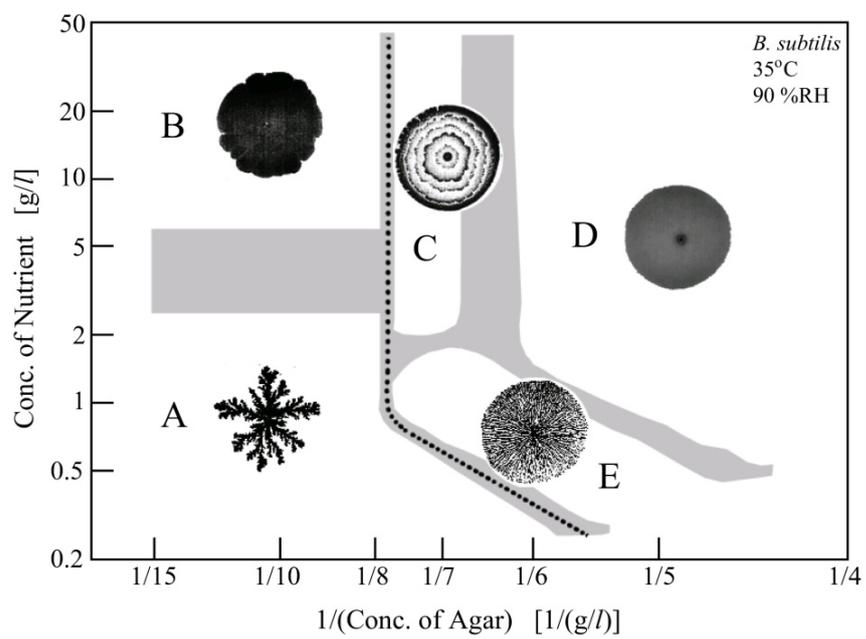
コロニーの成長界面近傍を顕微鏡で観察すると、コロニー形成機構の解明のヒントが得られるであろう。寒天が固い領域AとBではコロニーが成長しつつある界面でも個々の細菌は能動的には動けず、しかも成長・分裂した細胞が分離しない。他方、領域C、D、Eでは寒天が柔らかいため、コロニー界面近傍の細菌は活発な能動的運動を示す。(図の太い破線は能動的運動の有無の境界を表す。)領域Dでは細菌は一様等方に広がるだけであるが、領域Cでは広がりと停止を周期的に繰り返し、結果として特徴的な同心円状コロニーを形成する。特に、この同心円状のコロニー・パターンは枯草菌だけでなく、最近になって霊菌や大腸菌³⁾でも観察された。細菌の世界ではこのような周期的集団行動は一般的のようで、その生物学的意味が何なのか、興味深い。これらの振舞いのビデオを示す。このような振舞いの背後にあると思われる生化学的、遺伝学的な要因を探ることは興味深い今後の課題であろう。

このように、コロニー形成の際の環境条件として栄養濃度と寒天濃度を変えるだけでも、コロニー・パターンは大幅にかつ定性的に変化する。このことは大腸菌や霊菌など、他の細菌でも同様に見られる。この問題の理論的な課題としては、特徴的なパターンを統一的に再現するような現象論的モデルを構築することであろう。この点については、最近、反応拡散方程式を出発点とする多くのモデルが提案されており⁴⁾、そのいくつかを紹介する。

参考文献

- 1) J. A. Shapiro and M. Dworkin (eds.): *Bacteria as Multicellular Organisms* (Oxford Univ. Press, New York, 1997).
- 2) M. Matsushita, F. Hiramatsu, N. Kobayashi, T. Ozawa, Y. Yamazaki and T. Matsuyama, *Biofilms* Vol. 1 (2004) pp.305-317.
- 3) R. Tokita, T. Katoh, Y. Maeda, J. Wakita, M. Sano, T. Matsuyama and M. Matsushita, *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.78, (2009) pp.074005-1-6.
- 4) M. Mimura, H. Sakaguchi and M. Matsushita, *Physica A* Vol.282 (2000)

pp.283-303 およびその中の引用文献参照。



尿路結石形成のメカニズム

千葉大学大学院 医学研究院 泌尿器科学

坂本 信一、市川 智彦

〒260-8670 千葉市中央区亥鼻 1-8-1

e-mail ; rbatbat1@yahoo.co.jp

Mechanism of Urinary Stone Formation

Shinichi Sakamoto, Tomohiko Ichikawa

Department of Urology, Chiba University Graduate School of Medicine

1-8-1 Inohana Chuou-ku, Chiba, Chiba, Japan, 260-8670

Abstract:

Urinary Stone is relatively common disease observed in 15.1% of male and 6.8% of female. Recently relation with metabolic syndrome has been noted. Most common urinary stone is calcium oxalate stone, while magnesium ammonium phosphate stone is related to urinary infection. Inherited type of stone is cystine stone that is seen in Cystinuria patients. Our analysis revealed that majority of Japanese Cystinuria patients possess novel P482L mutation that has not reported in European countries. Each urinary stone possess unique structure that is composed of organic and inorganic substances. Evidences derived from basic researches lead us not only to understand the mechanism but also to prevent the urinary stone.

Keywords: Oxalate, Cystine, Urinary Stone, Kidney

我が国の尿路結石症の有病率、罹患率は他の先進国同様、増加の一途をたどっている。2005年の全国調査では、男性15.1%、女性6.8%である。特に近年、生活習慣病（メタボリックシンドローム）との関連が注目と集めていることから、非常に身近な疾患の一つである。尿路結石は、90%以上の無機物質（無機成分）と、数%の有機物質（マトリックス）とから構成されている

結石の種類としては、最も多いのが、シュウ酸カルシウム結石（ CaC_2O_4 ）であり、尿路結石の80%以上を占めている。他には、リン酸カルシウム結石、尿酸結石、リン酸マグネシウムアンモニウム結石等があげられる。また、遺伝性に引き起こされる結石として、シスチン結石が知られている。近年は、結石の成因として、無機成分以外にも、有機成分（マトリックス）が結石形成において、重要な役割を果たすことが解明されつつあり、結石マトリックス成分として、オステオポンチン（OPN）が、注目されている。

結石の発生病序としては、1）シュウ酸などの結石成分の溶解度を超える飽和状態から結晶核の形成、2）結晶成長と凝集、3）結石芽（Stone Embryo）形成、4）固化（結石化）の4つのステップを踏むといわれている。

つまり、1）では、飽和濃度を超える結石無機成分が濃度の上昇とともに飽和濃度を超え結晶核を形成、2）結晶核が形成されると、速やかに結晶成長がはじまり、この結晶成長凝集には、オステオポンチン、酸性ムコ多糖類（Glycosaminoglycan）、Tamm-Horsfall Glycoprotein（THP）、糖蛋白などが関与するといわれている。3）成長した結晶は、尿細管細胞壁と結石マトリックスなどを介して接着し、時に、尿細管管腔を閉塞して結石芽を形成する。4）結石芽付着にともなう尿細管細胞の組織損傷や、炎症などにより生じた高分子物質とともに結晶塊が成長し、腎乳頭部付近にカルシウム塩の結晶塊（Randll's plaque）が生じ、これが結石原基として成長し、ある程度の大きさになると腎乳頭部組織とともに尿路に脱落し、尿路内の結石として認める。

近年、結石予防という概念から、尿細管障害に伴う結石芽形成過程を抑制する目的で、細胞障害抑制物質を用いた検討が報告されており、細胞障害や酸化ストレスに対して抑制効果を持つとされているビタミンEや、クエン酸、緑茶、Xanthine Oxidase Inhibitorを用いた検討などで、結石形成を抑制したという報告や尿細管細胞への接着が抑制されたとの報告がある。

一般臨床で認める結石それぞれの形状、及び、特徴について以下に述べる。

1) シュウ酸結石

シュウ酸結石には、二種類あり、一水和物（COM）は、卵円型、鉄アレイ状を呈し、二水和物（COD）は八面体に見られ、同じ結石でも結晶構造が異なる。シュウ酸カルシウム一水和物（COM）結石は、表面の色調が黒褐色、茶褐色で凹凸があっても表面平滑で、桑の実様のことが多い、時にサンゴ状結石になる。断面を電子顕微鏡にて観察すると、周辺部は結晶が密で、放射状構造が優位で、円形、半円形の結晶の集塊となり、不規則でやや

粗な所もある。

2) リン酸マグネシウムアンモニウム

リン酸マグネシウムアンモニウム結石 (MAP) は、尿路感染に伴う結石で、感染結石 (Infection Stone) ともいわれている。ウレアーゼ産生菌 (*Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* など) の感染が原因で発生する。色調は、茶褐色、黄褐色、白色が多い。表面は、ほぼ平滑で断面は、核を中心として同心円状構造をとる。表面は、有機性器質で覆われ、最近が産生するバイオフィームが認められることも多い。サンゴ状結石としては、感染結石が最も多い。排尿障害にともない二次的に発症する膀胱結石患者にも多く認める。

3) 尿酸結石

尿酸結石は表面平滑、褐色、赤レンガ色を呈するのが特徴で、断面は同心円、層状、放射線状で、表面は密な帯状層構造をとり、核部は疎な部分もみられる。尿酸結石は、シュウ酸カルシウムとの混合結石となることも多い。尿酸の溶解度は、尿 PH で大きく変化し、pH5 では 200mg/L でさえ溶解度を超えるが、pH6.5 では、1.200mg/L 以上の溶解度を示す。つまり、酸性尿の条件下で結晶化がおりやすい。その原因としては、下痢、動物性蛋白質の摂取、痛風、肥満などがあげられる。

4) シスチン結石

シスチン結石は、常染色体劣勢遺伝の先天性アミノ酸代謝異常であるシスチン尿症患者に発症する。シスチン尿細管でのアミノ酸の再吸収が障害され飽和溶解度を超えたシスチンが結晶化され、結石形成にいたる。シスチン結石の形状として表面平滑なことが多いが、凹凸なこともあり、色調は黄色から白色である。通常、単一成分で有機成分は少ない。断面は、結晶に放射線状配列を示し、密で、大小に成長したシスチン特有の六角形の柱状結晶塊が認められる。

シスチン尿症の原因として、腎近位尿細管に発現するヘテロ二量体構造のシスチントランスポーター；rBAT/BAT1 の遺伝子異常であることが判明した。我々の日本人シスチン尿症患者の解析から、日本人固有の遺伝子異常、P482L を見出した。さらに、この遺伝子異常は、日本人の BAT 1 異常患者の 8 割に認められることが明らかとなった。この P482L の遺伝子異常は、シスチントランスポーター；BAT1 の C 末端に存在し、さらなる解析により、C 末端に存在する P482 を含む“VPP”配列が小胞体からゴルジ体への輸送を規定することにより、シスチントランスポーターの膜への輸送に重要な役割を果たすことが明らかとなった。この VPP 配列は、同じトランスポーター Family に保存されている配列であり、二量体型アミノ酸トランスポーター (Heterodimeric Aminoacid Transporter Family) に共通する輸送のメカニズムである可能性が示唆されている。

これまで、一般的にみられるシュウ酸カルシウム結石から遺伝的な疾患であるシスチン結石を含めた様々な結石の基礎研究が蓄積されつつあり、これらの知見は、診断から治療、さらには、予防へ応用されつつある。

キュビズムとガラス建築——近代技術による心性の変容

秋丸 知貴

美術史家 〒606-8257 京都府京都市左京区北白川西伊織町1 2-2
tomoki_akimaru@yahoo.co.jp

Cubism and Glass Architecture

: the Transformation of Mentality Induced by Modern Technology

Tomoki Akimaru

Art Historian 12-2 Kitashirakawa-nishiori-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8257, Japan

Abstract: How has glass architecture transformed human mentality? Moreover, how has the transformed mentality influenced Cubism? Several researchers, such as Walter Gropius, Sigfried Giedion, László Moholy-Nagy, Gyorgy Kepes, and Colin Row, have addressed the abovementioned questions. However, their explanations are yet to be categorized and examined in detail. This paper presents a general interpretation of their studies and submits some new viewpoints. Glass architecture permits the hovering relations and transparent interpenetrations of glass planes. This transformation of the concept of substance produced by glass architecture can be related to floating and overlapping images in modern paintings such as Cubism.

Keywords: Cubism, glass architecture, transparency, simultaneity, modernism

1. はじめに

ガラス建築は、人間の心性をどのように変容したのだろうか？ また、そうしたガラス建築による心性の変容は、キュビズムにどのような影響を与えたのだろうか？

従来、この問題については、様々な論者が多様に論じてきた。しかし、それらの説明は、これまで必ずしも個別的にも全体的にも十分に整理や検討がなされてきた訳ではなかった。そこで、本発表はそれらの先行研究を一貫的・総合的に秩序づけ通観すると共に、その影響の内容についてまだ指摘されていない幾つかの新しい視点を提出する。

2. ガラス建築による心性の変容

ここで言う「ガラス建築」は、柱や梁に鉄材を用い、壁面や天井にガラス材を多用する建築を指す。

18世紀から19世紀にかけて、生産力の向上した鉄とガラスは、新たに建築素材として用いられ始める。その画期的な事例が、1851年の第1回ロンドン万国博覧会の展示館クリスタル・パレス（水晶宮）（図1）である。

従来の石造建築や木造建築では、側壁は、屋根や側壁自体の荷重を支えるために堅固で重厚でなければならなかった。これに対し、クリスタル・パレスでは、鉄骨が建物全体の

荷重を支えるため、側壁が支持体の役割から解放され、鉄骨と鉄骨の間に強度の低い板ガラスを壁面として張り巡らせることが可能になる。こうした支柱鉄骨間ガラス壁に、1867年のジョセフ・モニエによる鉄筋コンクリートの実用化が加わり、ガラス建築はさらに構造上の強度と自由度を増す。

こうしたガラス建築は、壁面外観において、ガラス面の透光や反射により、建物内外の境界を透視的にも鏡映的にも曖昧化し、前面像と後面像や透過像と鏡映像の二重あるいは多重写しを一般化する。

また、クリスタル・パレスのような支柱鉄骨間ガラス壁では、その支柱の細軸化と側壁の透明化により、壁面外観の脱物質的な軽快感が生じる。さらに、新たに開発される、1926年のヴァルター・グロピウスの《デッサウのバウハウス校舎》（図2）のようなキャンティレバー構造のガラス・カーテンウォールでは、隅角で支柱を介在させずにガラス壁面同士を連続して接合させることで、壁面外観の非実体的な浮遊感がより一層発生する。

3. キュビズムとガラス建築

こうしたガラス建築における、ガラス壁面の浮遊的で相互浸透的・同時性的な視覚現象は、キュビズム（図3）における、面表現の

浮遊的な相互浸透的・同時性的な視覚効果と非常に呼応的である。

また、こうしたガラス建築において覚知される、鉄骨構造やキャンティレバー構造の構造力学的・荷重集約的な抽象性も、キュビズムの自立的に凝縮する抽象的な線表現と非常に相応的である。

そして、こうしたガラス建築において感受される、支柱鉄骨間ガラス壁における細い支柱の規則的・軽快的な抽象性や、キャンティレバー構造のガラス・カーテンウォールにおける細い窓枠の規則的・無荷重的な抽象性もまた、キュビズムの自律的に漂揺する幾何学的な線表現と非常に照応的である。

【附記】

本発表は、平成 22～23 年度京都大学こころの未来研究センター連携研究プロジェクト「近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究」の研究成果の一部である。

【参考文献】

- [1] Walter Gropius, *Bauhausbauten Dessau*, München, 1930. 邦訳、ヴァルター・グロピウス『デッサウのバウハウス建築』利光功訳、中央公論美術出版、1995 年。
- [2] Walter Gropius, *The New Architecture and the Bauhaus*, London, 1935.
- [3] Sigfried Giedion, *Space, Time and Architecture: The Growth of a New Tradition*, Harvard University Press, 1941. 邦訳、ジークフリート・ギーディオン『空間・時間・建築 (全 2 巻)』太田實訳、丸善、1995 年。



図 3 パブロ・ピカソ
《アルルの女》1911-12 年

[4] László Moholy-Nagy, *The New Vision*, New York, 1928. 邦訳、L・モホリ＝ナジ『ザニュー ヴィジョン』大森忠行訳、ダヴィッド社、1967 年。

[5] László Moholy-Nagy, *Vision in Motion*, Chicago, 1946. 邦訳、L・モホイ＝ナジ「ヴィジョン・イン・モーション (1) ～ (26)」阿部公正訳、『SD (第 194～234 号)』鹿島出版会、1980 年 11 月号 - 1984 年 3 月号。

[6] Gyorgy Kepes, *Language of Vision*, Chicago, 1944. 邦訳、ギオルギー・ケペッシュ『視覚言語』グラフィック社編集部訳、グラフィック社、1973 年。

[7] Colin Rowe, “Transparency: Literal and Phenomenal” (1963), in *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, MIT Press, 1976. 邦訳、コーリン・ロウ「透明性—虚と実」『マネエリスムと近代建築』伊藤豊雄・松永安光訳、彰国社、1981 年。

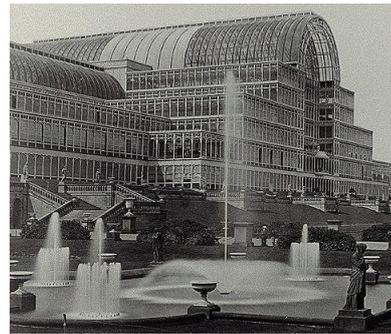


図 1 ジョセフ・パクストン
《クリスタル・パレス》1851 年

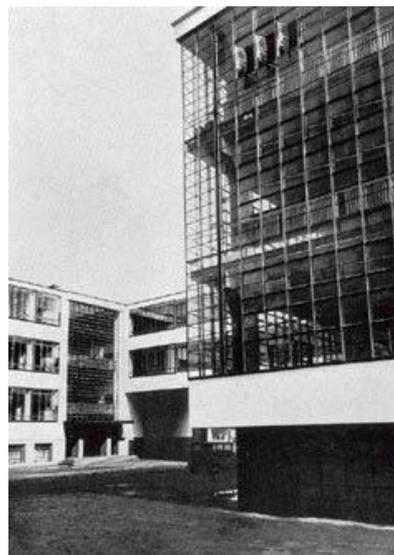


図 2 ヴァルター・グロピウス
《デッサウのバウハウス校舎》1926 年

絞り染めの可能性を考える II

中村健蔵

MathArt作家 静岡県駿東郡小山町須走27-3-14-201 〒410-1431

E-mail:SI4K-NKMR@asahi-net.or.jp

前回、発表した絞り染めについて制作した頂いたので、実際作成する場合の困難を考察し、新たな可能性について考えてみたい。

Potential of the Shibori dying II

At previous symposium I talked about potential of Shibori dying, and I had collaborated with to make a pattern of Shibori dying. I'd like to analyze the difficulty of dying and consider another potential of Shibori dying.

1 はじめに

前回の発表で、「絞りは友禅等と違って、染めないための技法」という言葉に触発され、その場で聞いた制約のみを緩和することを考え、図1のような同心円を利用したものや図2のように通常、2回まで

の染めを3回以上行うことについて提案してみた。これらのデザインで染めが出来ないかにつ

いて検討し作成して頂いたので、それについて述べる。

2 作成した絞り

図3が今回作成した絞りである。黄土色と空色で2回染色し、地が美しい柳色になっている。絞りは半径7cmの円を3段に充填配置したものを2回の染色ごとに入れ違いに行ったものである。円を多用した、これまでにないパターンとなっている。

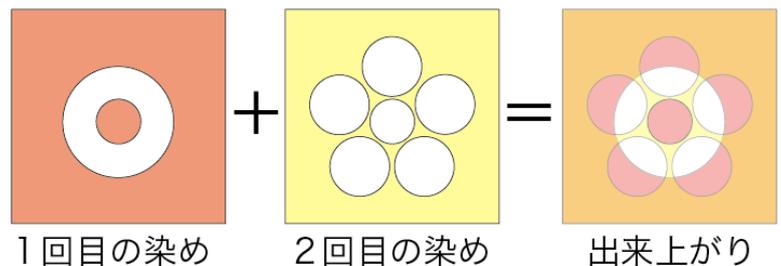


図1：絞り2回染めによる梅鉢

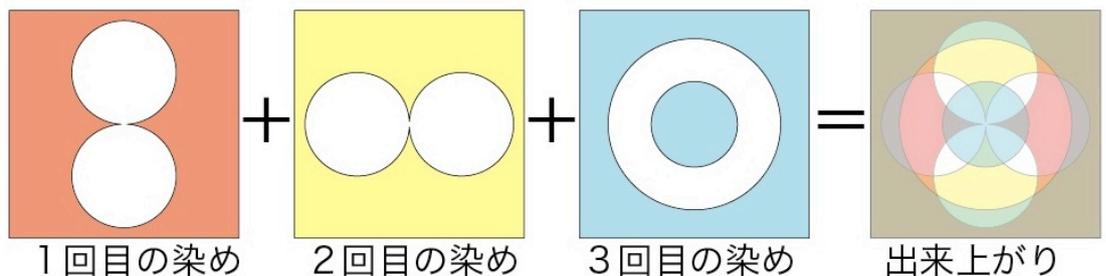


図2：3回染色の絞り模様

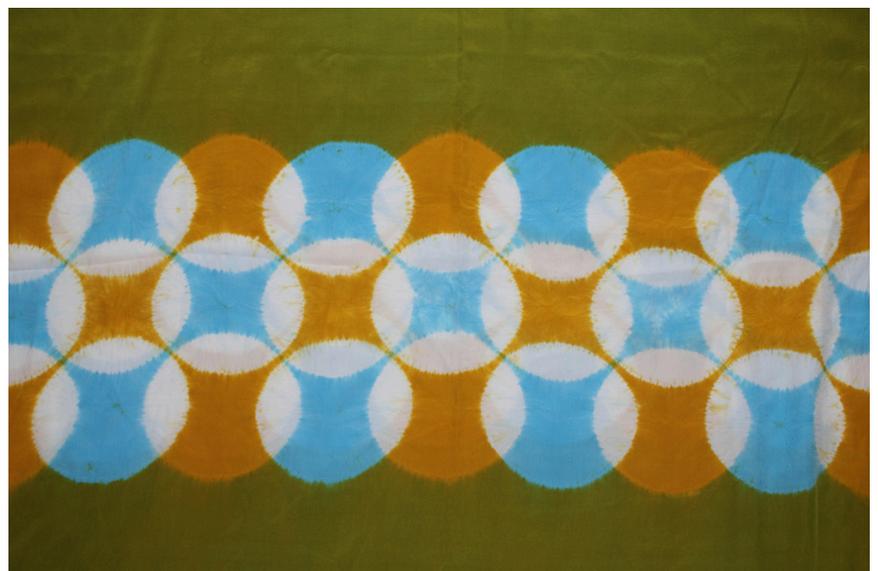


図3：作成した絞り

3 絞り作成における制約

今回の作成に使用した絞り方は帽子絞りと呼ばれるものである。この絞り方を図4に示す。絞る前には、図案に従い下図を描き、それに沿って絞るために縁をかがるように裁縫を行い、ビニールを取り付けながら絞る。このビニールを帽子と呼ぶので、この名前がついた。実に手の込んだ方法であり、この絞り方では、同心円に絞ることが出来ないとのことである。理由は布の厚さがあり、染めないことが出来ないためである。



図4：絞り方

また、3回以上の染色では地の色が黒になってしまい、美しい色にならないため出来ないとのことである。

4 制約についての考察

同心円に絞ることであるが、布の厚さが制約で絞れないのであれば、円を小さくすることで出来るはずである。今回の円が半径7cmであったのであるから、その半分の3.5cmと7cmの間を同じように絞り、防具の両端が開いたものにする改良は必要であるが、防具を取り付けることは可能なはずである。

また、3回以上の染色については、1つの色を薄くする、つまり、パステルカラーで染めるというのはいかがであろうか？少なくとも真っ黒になってしまうことはないであろう。ただし、美しい地の色になるかどうかについては、判らない。濁った色になりやすいことは当然である。

5 まとめ

絞りの制作いただき、実際のもの作りにはいろいろな困難を伴うことを改めて認識した。筆者としては、梅鉢の絞りを作成したかったのですが、同心円のアイデアを実現できなかったことが、実に残念である。考察が未練たらしくなったのは、ご容赦願いたい。実際に作るには、物、行程等のそれぞれで細かい制約があるだろうことは判っているつもりである。

最後になるが、作品を作成いただいた 片山文三郎商店社長 片山一雄氏に感謝申し上げます。本当に素晴らしい作品をありがとうございました。

参考文献等：1 作品の作成：片山文三郎商店 <http://bunzaburo.com/>

〒604-8151 京都市中京区橋弁慶町221番地 TEL075-221-2666

2 「Mathematicaで絵を描こう」中村健蔵 東京電機大学出版局 1998

ハインツマン固定肺を使用した肺胞腔の Helicon Focus による解析

小和田佳織、流田智史、本多 修、富山 憲幸

橋本市民病院 和歌山、大阪大学大学院医学系研究科 放射線医学講座

肺の疾患は、気管支を中心とする場合と肺胞を中心とする場合があります。気管支については、肉眼的にも再構築がおおよそ可能で、顕微鏡的再構築も検討されています。ところが、肺胞については、肺胞壁が薄く、病理学的に処理しにくいことは不可避な問題で、検討が十分になされていません。研究仲間の居倉先生が兵庫県播磨の Synchrotron radiation による Ultra-High-Resolution CT でハインツマン固定肺を撮影した肺胞を報告しています。この像は顕微鏡写真と変わらない拡大の肺胞像の CT です。この像を重ね合わせることで再構築が可能です。これは我々には使わせてもらえません。

肺胞腔の病変は肺の気管支を中心とする場合もふくめて、ほとんどの疾患において、形態的、診断的、予後的、治療的に重要です。

我々は、その端緒として、ハインツマン固定の正常肺を使用して、3次元的な再構築が可能なシステムの Helicon focus による肺胞の再構築を試みましたので報告します。

方法

使用した肺：剖検により得られた肺で、ほぼ正常と思われる。

ハインツマン固定肺； 使用した固定液：ポリエチレングリコール：

エチルアルコール：ホルマリン：水=10：5：2：3

固定：気管支から固定液を注入し充満させた肺を 5 日から 7 日間固定液をいれたタッパー内に沈める。

乾燥：カゴの中につるした肺に、約 20-30 cmH₂O 圧の空気を、3 日から 7 日間、気管支内にさしいれた tube から注入する。

染色：写真撮影前に eosin で淡く染色する。

Helicon focus：この方法は昨年東京学芸大学の形の科学学会で発表されました新潟大学大学院自然科学研究科吉岡翼先生から情報提供していただきました。立体像を焦点のあった時点から写真をとって、カメラと対象の距離を少しずつ縮めて焦点を合わせる事なく、連続写真をとって、対象の立体像を画像化するシステムです。

Helicon focus による合成像の意義

通常の組織標本ですと、**3-5 μ** の厚さで肺胞のつながりをみるのですが、**Helicon focus** では **4-5mm** の厚さでそのつながりを検討できる事が最大のメリットです。その厚さで検討することでマクロ化が可能となるわけです。マクロ化により肺胞の構造が認識しやすくなります。

結果

Helicon focus で得た図をプリントアウトして連続している部を同一の色で塗り分けると、**3** 種類の色で ほとんどの部がつながりました。しかしながら、連続性の ない巣状の色の塗られてない部分が散在しています。これが何を意味するか、不明です。ただ、最も考えられますのは **4-5mm** の厚さ以外の肺につながっていることです。今後の検討が必要です。

まとめ

ハインツマン固定の正常肺で、**Helicon focus** を使って肺胞腔の再構築を試みました。まだ、検討した部分が少力で、新知見を確認するまでは至っていません。ただ、顕微鏡による検査で肺胞は同じようにすべて連続しているようにみえますが、その肺胞の連続性は複雑になっている印象があります。

ただ、得る合成図の質が悪い事や信頼性が弱い点があります。信頼性の確認のためにも同部位の組織標本に依る再構築にて確認作業が必要と考えています。

横隔膜の力学的非対称性が言語中枢を左に導く

北岡裕子

460-0002 名古屋市中区丸の内 2-18-25 (株)JSOL エンジニアリング事業部顧問

**Asymmetry of the diaphragmatic motion during vocalization
may cause the laterality of the speech center in the brain**

Hiroko KITAOKA

Div. of Engineering, JSOL Corporation, h-kitaoka@tyo.sci.jsol.co.jp

1. はじめに

ほとんどのヒトの言語中枢は左大脳半球に存在するが、その理由を説明する仮説はまだ提唱されていない。近年の比較脳科学研究によると、鳥類の中には、鳴き声に文法を持ち、同族同士で会話をするものがあるようで、動物の鳴き声がヒトの言語の源であることは定説になりつつある[1]。しかし、ヒトの口唇や、舌、声帯のような発声器官は完全に左右対称で、脳機能の局在を発声器官で説明することはできない。

発声は上記の発声器官だけでなく、気流を生み出す呼吸器系も大きな役割を果たす。ヒトの発声は、特殊な場合を除き、呼気時になされる。安静沈黙時には、吸気時に収縮した呼吸筋(=吸息筋、外肋間筋と横隔膜)が弛緩することによって、受動的に呼気流が生じる。しかし、発声時には、腹筋群が随意的に収縮して横隔膜の変位を制御する。それにより、呼気流量が制御され、安静時の呼気時間よりも長時間、発声を続けることができる。肺は左が2肺葉、右が3肺葉に分かれているが、総容積は左右ほぼ等しい。呼吸器系および、腹筋も含めた呼吸筋群にも左右差はない。しかし、横隔膜の下に位置する腹腔内臓器は左右で大きく異なる。人体最大の充実性臓器である肝臓が右に位置し、人体最大の内径をもつ弾性チューブである胃が左方に位置する。腹筋群の生み出す腹圧の変化に対して、肝臓はほぼ剛体のように、胃はゴムボールのようにふるまう。

筆者は、哺乳類とヒトの進化にとって横隔膜が決定的な役割を果たしたとする仮説を提唱している[2]。横隔膜はすべての哺乳類が持ち、哺乳類だけが持ち、横隔膜なしで生存しうる哺乳類は存在しない。横隔膜が作り出した「肺胞肺」は、鳥類の「気嚢—空気毛細管」の肺に比べて、ガス交換効率は劣るものの、吸入粉塵のクリアランスが良いため、大気汚染や空気感染性病原体に強い。このことが、哺乳類が鳥類を押さえて地上の覇者になった理由であろうとする仮説である。また、活動時に横隔膜を水平に配置させる唯一の哺乳類であるヒトは、横隔膜の運動方向を重力方向に一致させることで、呼気流の制御をより精密に行ない、言語情報システムの構築を実現した、とする仮説である。本シンポジウムでは、発声中の横隔膜運動の左右差が、言語中枢を左に導くとする新たな仮説を提案し、横隔膜のダイナミック MR 画像解析によって、その仮説を検証した結果を報告する。

2. 対象と方法

58 才の健常男性ボランティア(右利き)の 2D-ダイナミック MR 画像を撮像した。撮影部位は、仰臥位胸部中央の前頭断面で、沈黙安静呼吸中と歌唱中の双方を、それぞれ、時間間隔 0.5 秒で 20 秒間、撮像した(Siemens Magnetom Avanto 1.5T)。

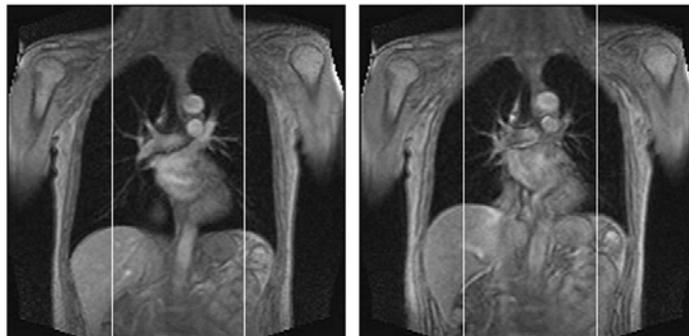


図 1. 歌唱時の MR 画像(左：発声開始直後、 右：発声終了直前)

図1に示すようなサンプリングラインを肺野の両側中央に設け、サンプリングラインと横隔膜の交点の位置座標をプロットした。

3. 結果

図2に左右の横隔膜の位置の経時変化を示す。吸気時に横隔膜が下方に移動し、呼気時に上方に移動する。沈黙安静時には、左右の横隔膜の運動は完全に同期していた。左横隔膜が常に約2cm下方に位置しており、運動は対称的であった。他方、歌唱中は、左横隔膜が発声開始直後に時々奇異的な動きを示した。図2(b)の第3、第4、第6番目の発声開始直後である。右側横隔膜が上方に移動しているのに対し、左側横隔膜はさらに下方に移動したのち、上方移動に転じている。

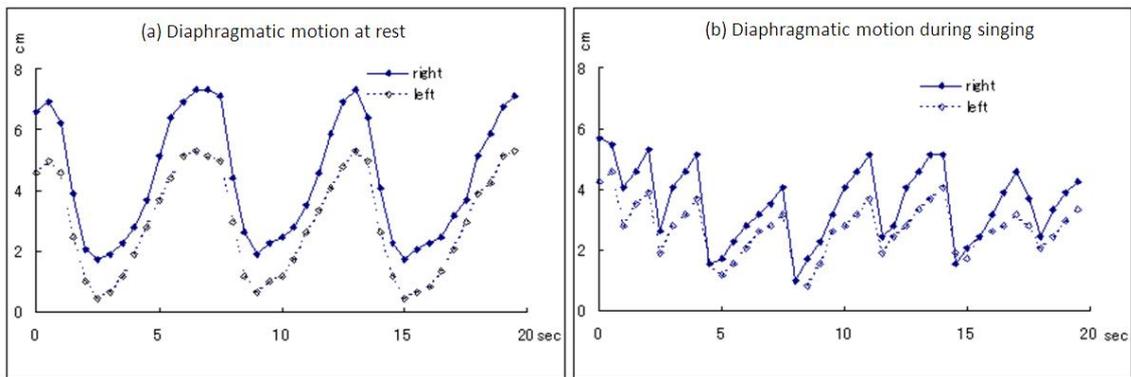


図2. 横隔膜の位置の経時変化. 左：沈黙安静呼吸中、右：歌唱中。

4. 考察

MR 画像解析によって、発声開始直後の横隔膜の運動に、明らかな左右差があることが判明した。腹筋の収縮によって生じた力が、右側では肝臓を介して忠実に横隔膜に伝達されたのに対して、左側では、胃の変形によって伝達が修飾されるためと考えられた。沈黙安静呼吸中には左右差が認められないのは、沈黙安静時は腹筋の収縮を伴わないためと考えられた。

近年の鳥類の研究によると、発声の分節化が文法の生成に重要な役割を果たす、とのことである。発声の分節化には、呼気流の停止と再開を精密に制御することが不可欠である。横隔膜の位置情報は胸膜表面に分布する迷走神経の知覚線維によって中枢に伝えられる。呼気流量を正確に反映する右側の横隔膜の位置情報が優先的に言語回路に組み入れられることが、言語中枢が左側にある理由と考えられる。

FoxP2 遺伝子は、言語障害の家系にその欠損が見出される唯一の遺伝子である[3]。最近、その遺伝子が肺の形成に深く関わっていることが明らかになった[4]。FoxP2 は呼吸器系の運動機能を介して言語の発達に関与している可能性がある。

5. おわりに

言語は脳の活動だと考えがちであるが、脳を支えるのは身体である。呼吸運動がヒトの身体精神活動の源であるとする「唯息論」を提唱する。

文献：

- [1] OKANOYA, K. (2004) Song syntax in Bengalese finches: proximate and ultimate analyses. *Advance in the Study of Behaviour*, 34, 297-346.
- [2] KITAOKA, H. and CHIHARA, K. (2010) The diaphragm: a hidden but essential organ for the mammal and the human. *Adv Exp Med Biol*, 669, 167-171.
- [3] LAI, C.S., et al. (2001) A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413, 519-23.
- [4] SHU, W., et al. (2007) Foxp2 and Foxp1 cooperatively regulate lung and esophagus development. *Development*, 134, 1991-2000.

草本のフラクタル成長と葉面積-葉数べき乗則

小山耕平

日本学術振興会 特別研究員

石川県立大学 生物資源環境学部 環境科学科 植物生態学研究室

〒921-8836 石川県石川郡野々市町末松 1 丁目 308 番地

kkoyama@ishikawa-pu.ac.jp

Power rule and dynamic scaling in leaf population growth

Kohei Koyama

JSPS Research Fellow, Laboratory of Plant Ecology, Ishikawa Prefectural University, Suematsu, Nonouchi, Ishikawa, 921-8836, Japan

要約： 分枝しない草本（平面的に葉を広げるウバユリ、垂直に一本の茎を伸ばすキクイモ）の個体葉面積と個体葉数の関係は「べき関数」であり、これはフラクタル生長現象 (Fractal Growth Phenomena) で有り、動的スケーリング則が成立している。

はじめに： 成長する草本は、個体サイズの増加に伴い個葉の平均サイズも増加する。しかし、小さい個体と比べて大きい個体の葉は全てが一斉に大きくなる訳ではなく、どのサイズの個体にも様々なサイズの個葉が混在する。その結果、個体葉面積（1個体の合計葉面積）と葉数（1個体の合計葉数）の関係は複雑で、未解決の問題である。

実験結果： 草本ウバユリ (*Cardiocrinum cordatum*) およびキクイモ (*Helianthus tuberosus*) の成長段階（サイズ）の異なる個体を調査した。以下の2点を報告する。

(1) 個体葉面積と個体葉数の関係は「べき関数」で有る (図2)。

(2) ウバユリについて、個葉のサイズ構造（それぞれの大きさの個葉が、いくつ存在するか）を表す関数が、大きい個体と小さい個体で、アフィンである事を発見した。すなわち、横軸にある葉の集団内での正規化された位置（0：先端、1：根元）を、縦軸にその個葉の相対的な大きさ（ある1枚の葉が、その個体の平均個葉サイズの何倍か）をプロットしたとき、大小全ての個体の葉の集団が、同一の曲線上に存在した (図1)。

考察： 以下の3点を考察する：

(考察1) 草本1個体上の葉の集団の成長は、葉数が増加しながらも全体がアフィンに拡大成長していくもので、アフィン変換と分裂の組み合わせで有ると言える (図3)。これは、フラクタル成長現象の1種であり、動的スケーリング則が成立していると結論する。

(考察2) これまで分枝する樹木について、その統計的自己相似性（フラクタル）が注目発見されてきた (Morse 1985; 松下 2002)。今回、分枝しない平面構造を持つ草本（ウバユリ）、垂直に伸びる1本の茎（キクイモ）、の両者について初めて、フラクタル生長現象を発見した。

(考察3) 結晶の成長などに見られる様に、相転移現象はフラクタル構造と密接な関係を持つ。植物の成長は、化学的には気体の炭素(CO₂)が個体の炭素(CH₂O)に相転移する現象で有る。分散する気体が光エネルギーを受けて個体として固定されていく過程は、結晶成長と物理的に同質なフラクタル成長現象ではないだろうか。異分野の研究者との議論を期待したい。

Keywords: フラクタル成長現象、アフィン、動的スケーリング則、相転移、草本

Morse (1985) Nature 314:731-732.

松下貢(2002)「フラクタルの物理」1, 2. 裳華房(裳華房フィジックスライブラリー)

図1-3 (ウバユリ)

図1

**相対位置と相対葉面積の関係は
個体サイズに依らず不変**

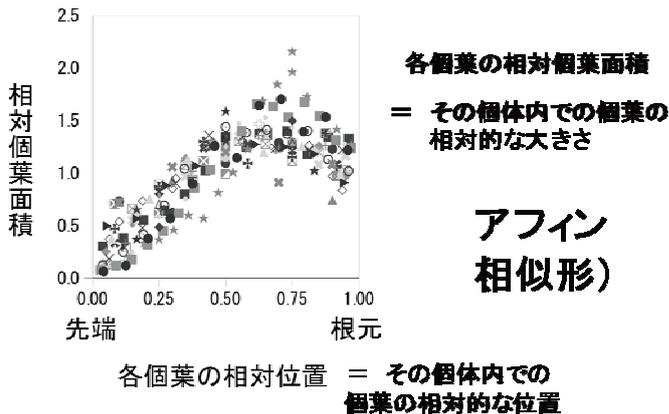


図2

**個体葉面積は
個体葉数の「べき乗」**

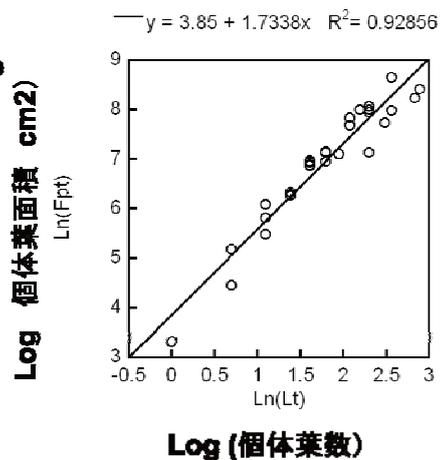
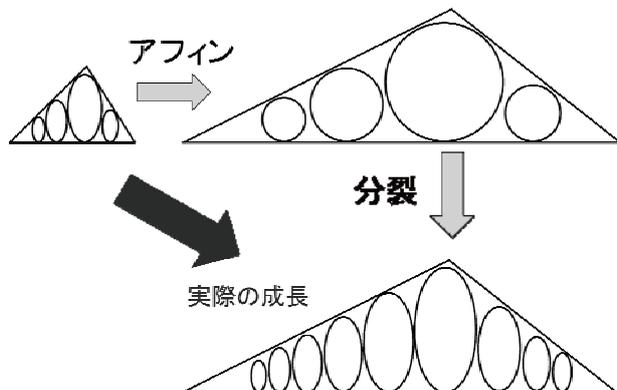


図3

**葉の集団の成長は、規則正しい
「アフィン拡大」と「分裂」の繰返し**



結論:

**葉の集団の成長
=フラクタル成長現象**

**「葉数—葉面積
動的スケーリング則」**

ニューベキアの葉の発生過程における表現型可塑性のモデリング

中益 朗子、末松 J 信彦、木村 成介

明治大学 グローバル COE、〒214-8517 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1
te11002@meiji.ac.jp

Modeling of phenotypic plasticity in the leaf development of *Neobeckia aquatica*

Akiko Nakamasu, Suematsu J. Nobuhiko, Seisuke Kimura

GCOE Meiji University, 1-1-1 Higashimita Tama-ku Kawasaki Kanagawa 214-8517

Abstract: The leaves of the water plant *Neobeckia aquatica* show extreme phenotypic plasticity depending on their environment (ex. temprature). The fractal organization of the compound leaves indicates the involvement of a periodic patterning mechanism in their development. Therefore we used a reaction-diffusion model to simulate the development of different *Neobeckia* leaf morphologies under various environmental conditions.

Keywords: morphogenesis, development, reaction-diffusion model, phenotypic plasticity

実験の背景

反応拡散不安定性[文献 1]は、自律的な等間隔パターン（チューリングパターン）の形成を説明できる理論である。生物の発生過程における位置情報を考える上で、大変魅力的な理論であり、この分野での応用が期待される。ただ、チューリングパターンに関しては、二次元平面上に展開する等間隔パターンである「模様」に関して良く研究がなされている[文献 2,3]が、これを三次元に展開する「形態」に移行することは、まだ始まったばかりである。ここで、様々な植物においてみられる葉は、大まかに二次元平面上に展開する「形態」である。最近、葉の鋸歯状構造に関して、縁において等間隔パターン形成を起こし、その部分で伸長をおこすモデルが、シロイヌナズナで報告された[文献 4]。つまり、葉の縁という一次元上でのパターン形成を元に、葉のギザギザという二次元平面上に展開する「形態」を考えることができる。このように、形態形成を考える上で単純化されており、良い研究対象ということが出来る。

葉の形態形成のモデリング

そこで、アブラナ科の水生植物、ニューベキアの葉の形態形成を対象に研究を行った。ニューベキアは、生育環境（温度・水没など）に応じて劇的な葉の表現型の可塑性を示す(図 1)。このような、様々な形態を作るための、共通の基本原



図 1 ニューベキアの葉が示す表現型可塑性

理として、先の、葉の縁で等間隔パターンを形成するモデルを採用した。シロイヌナズナの等間隔形成機構に関しては、オーキシンの極性移動を中心としたシステムになっており、「反応項」と「flux 項」を含んでいるため、広い意味で反応拡散系として捉えることができる。ただ、パターンを作るために重要な物質間の相互作用の証明に関してはクリアでないため、このシステムを用いる根拠が乏しい状態である。そこで、等間隔パターンの形成には、簡便のため、よりシンプルな反応拡散モデルのチューリングパターン形成条件を用いた。そして、環境（温度）変化によって生じる、ニューベキアの葉の形態の連続的变化を、パラメーターの違いによって生じるチューリングパターンの連続性（図2）で表現した。

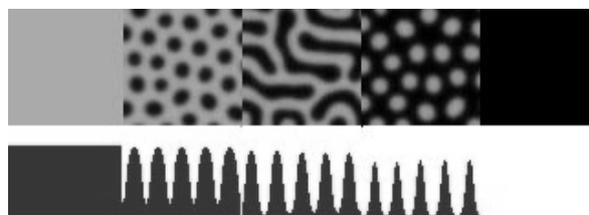


図2 チューリングパターンの連続変化

モデルの検証

発生過程における等間隔パターン形成の維持を裏付けるかのように、ニューベキアの複葉ではフラクタル構造（図3）が見られる。実際、温度の移行実験により、発生はかなり後期まで、パターン形成機構が生き続けていることが確かめられた。そこで、様々な発生段階・生育環境における葉の突起間距離を測定し、その等間隔性について調べた。ここから、モデルの正当性に関して、議論を行う。



図3 複葉におけるフラクタル構造

参考文献

- [1] A. Turing. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London B*: 237, 37-72. (1952)
- [2] S Kondo & R. Asai *Nature* 376, 765-768. (1995)
- [3] A. Nakamasu *et al. Proc Natl Acad. Sci. USA* 106(21), 8429-34. (2010)
- [4] D. Bilborough *et al. Proc Natl Acad. Sci. USA* 108(8), 3424-29. (2011)

タイムラプス観察に基づく多細胞性シアノバクテリアの
ヘテロシスト分化パターンニングの解析

石原潤一¹、浅井宏啓¹、岩森俊介¹、宮城康之¹、岩崎秀雄^{1,2}

1 早稲田大学理工学術院先進理工学研究科電気・情報生命専攻

2 *Metaphorest*

e-mail: vioplant@moegi.waseda.jp

Cyanobacterial Cell Lineage Analysis of the Spatiotemporal *hetR* Expression
Profile during Heterocyst Pattern Formation in *Anabaena* sp. PCC 7120.

Junichi Ishihara¹, Hironori Asai¹, Shunsuke Iwamori¹, Yasuyuki

Miyagi¹,

Hideo Iwasaki^{1,2}

1 Department of Electrical Engineering and Bioscience, Waseda University, Japan

2 *Metaphorest* BioAesthetics (Biological/Biomedicine Art) Platform

Abstract

Under nitrogen-starved conditions, the filamentous cyanobacterium, *Anabaena*, differentiates nitrogen-fixing cells called heterocyst. This is one of the simplest regular multicellular pattern formations with cell differentiation. We developed a culture system to monitor simultaneously bacterial development, gene expression, and phycobilisome fluorescence to analyze the spatiotemporal dynamics of heterocyst formation at the single filament level. Then, we performed cell lineage analysis, and observed neighboring cells competed to each other to become a heterocyst, suggesting a lateral inhibition system.

KeyWords

Morphogenesis, cyanobacteria, pattern formation

多細胞性シアノバクテリア *Anabaena* sp. PCC 7120 のヘテロシスト分化形成

多細胞性シアノバクテリア *Anabaena* は、窒素源が培地中に存在する条件では、光合成を行う栄養細胞が一次元状に連なるが、窒素源を培地から除去すると、およそ 10 細胞おきにヘテロシストと呼ばれる肥大細胞を分化させる (図 1A)。このとき、ヘテロシストでは窒素固定 (分子状窒素を還元し、アンモニアや硝酸の形で窒素源として取り込む代謝機能) が行われる。一方、栄養細胞では炭酸固定 (光合成) が行われており、両細胞間の空間的な代謝分業体制が等間隔の分化パターンとして観察される。この分化現象には、主要な分化促進遺伝子 *hetR* の遺伝子発現に見られるポジティブ・フィードバックと、分化抑制遺

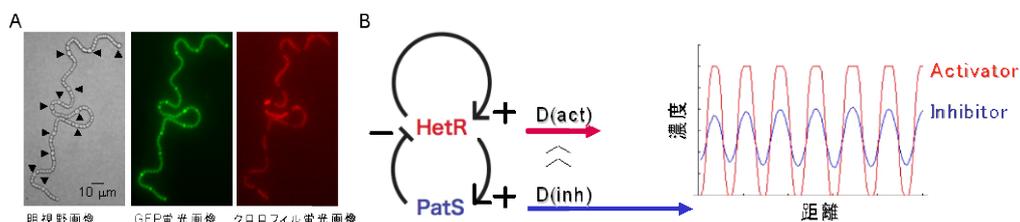


図 1 A: *Anabaena* (*hetR::gfp* 株) のヘテロシスト分化 (左図矢印) とパターン形成の様子。中央図: ヘテロシストでは高い GFP 蛍光を示す。右図: ヘテロシストではクロロフィル蛍光が退色する。 B: Turing モデルにより、*HetR* (Activator) と *PatS* (Inhibitor) の相互作用から等間隔の分化パターンを再現できる可能性が示唆されている。

伝子 *patS* によるネガティブ・フィードバックのカップリングが重要とされている。さらに、PatS が低分子量ペプチドであることから、Turing モデルに代表される固定波形成が想起される (図 1B)。

細胞系譜作製による分化パターン形成の定量的な記述

私たちは、分化パターン形成を同一個体 (フィラメント) 内で追跡するため、独自に微小培養チャンバーを作製し、顕微鏡下で長期間培養しながら連続観察を両立できる系を開発した。このシステムを用いて、一細胞レベルで分化促進遺伝子の発現パターンや光合成活性の変化を詳細に観察・解析し、細胞分裂及び分化とそれに伴うパターン形成との関係性を細胞系譜として書き表すことで、定量的な動的ダイナミクスの記述を試みた (図 2A, B)。

その結果、例えば一過的に分化促進遺伝子の発現が上昇するも、(多くの場合は細胞分裂を伴いながら) 分化の進行が抑制され、代わりにその近傍の細胞で短時間のうちに発現が上昇し、分化に至る様子が確認された (図 2C)。これは、分化促進遺伝子をいち早く発現した細胞が分化するわけではなく、細胞分裂や細胞生長などの内因性ゆらぎに対応しながら、細胞間相互作用を介して動的に位置情報が修正され、分化運命が決定されていることを示唆している。

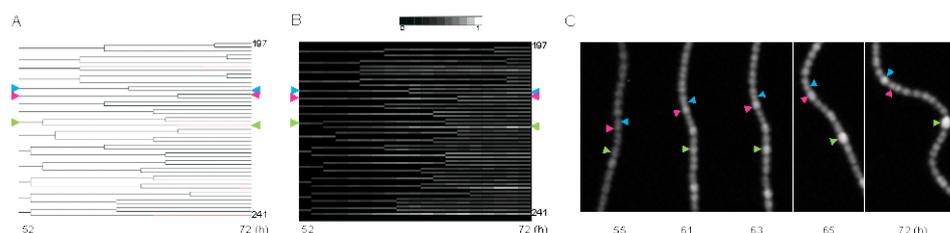


図2 A: *Anabaena* の同一個体の長期観察から書き表した細胞系譜 (一部)。黒線は細胞分裂、マゼンダ線は分化を示す。B: *hetR::gfp* の蛍光シグナル値をAの細胞系譜に重ね合わせた。白色強度が蛍光レベルの強度を表す。C: 顕微鏡による実際の個体の蛍光観察画像。A~Cにおいて、横軸は窒素飢餓条件移行後からの時間、右縦軸の番号は72時間後の細胞に振った番号を示す。マゼンダ矢印は *hetR* が一過的に上昇するものの、分化せずに分裂を行った細胞、シアン矢印はマゼンダ矢印の細胞が分裂した後に急速に *hetR* を発現した細胞を示す。

また、従来ヘテロシスト分化には細胞分裂が必要と考えられてきたが、抗生物質により細胞分裂を阻害しても、ヘテロシストが等間隔性をもって形成されることを見出し、その過程でも分化促進遺伝子の発現変動を確認することができた。

以上の観察から、分化促進遺伝子の発現が一過的に上昇する現象は、単に細胞分裂によってその発現が抑制されただけではなく、栄養細胞の分裂・肥大化を通じて細胞数や細胞間距離が絶えず攪乱される中で、位置情報を生成しながら運命決定を行う過程の一端であることが示唆される。この解釈は、分化細胞の決定機構を反応拡散系の Turing 波に基づくとの考えに矛盾しない。今後は、個々の細胞分裂や周囲の細胞数の変化といった攪乱に対し、分化運命の決定がどこまで調整されるのか (柔軟性を保つのか)、定量的に考察する必要があるだろう。

H. Asai, S. Iwamori, K. Kawai, S. Ehira, J. Ishihara, K. Aihara, S. Shoji, & H. Iwasaki (2009) "Cyanobacterial cell lineage analysis of the spatiotemporal *hetR* expression profile during heterocyst pattern formation in *Anabaena* sp. PCC 7120" *PLoS ONE*, 4 e7371

彗星理論の変遷——天体力学の観点から

杉本 剛

神奈川大学：〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

sugimt01@kanagawa-u.ac.jp

Changes in Cometary Theories: a View from Celestial Mechanics

Takeshi Sugimoto

Kanagawa University: 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa Ward, Yokohama 221-8686

Abstract: In liberal arts ‘astronomy’ is the subject that deals with dynamics of geometry. Among celestial bodies comets played a very important role in establishment of celestial mechanics. Aristotle deduced comets as meteorological phenomena. He classified two kinds of comets with and without tails: the former is a hairy star, whilst the latter is a bearded star. At the dawn of modern astronomy Kepler imagined a straight cometary orbit. Flamsteed, the first Astronomer Royal, posed a repelling theory for cometary mechanics. Newton succeeded to determine a parabolic orbit for the great comet in 1680 in Principia (1687). Halley established his synopsis for a cometary theory in 1705. Halley’s Comet reappeared in 1758 as he predicted.

Keywords: History of Science, Celestial Mechanics, Cometary Orbits

1. いとぐち

リベラル・アーツ 7 科目は、言語を使いこなすための trivium (三叉路＝文法・論理・修辞) および数理に長けるための quadrivium (四叉路＝算術・幾何・音楽・天文) からなる。天文は動的な幾何学の位置づけであった。

2. 気象論

中世まで強い影響力を及ぼしたのは、アリストテレスの学説であった。アリストテレスは、彗星が月より地球の近くにあるとみなして、気象現象のひとつとしてとらえた。蒸発中の物体であると考えた。尾のない彗星を髪星 (κομητης) そして尾の生えた彗星を髭星 (πωγωνιας) とよんで、分類整理した (図 1)。彗星の英名 comet は髪 (κομη=coma) に由来している。

精密な天体観測で名高いチコ・ブラーエは、1577年に現れた大彗星 (図 2) を観察しているが、気象現象であると考えていた。

3. 宇宙論

チコ・ブラーエの助手だったケプラーは、ブラーエの死後に膨大なデータを引き継ぎ、有名な 3 法則を導き出す。惑星の公転軌道が楕円であることを指摘した

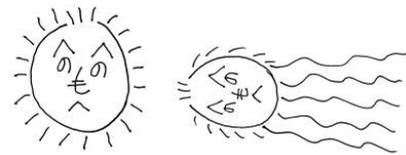


図 1. 髪星 (左) と髭星 (右)



図 2. 1577 年に現れた大彗星

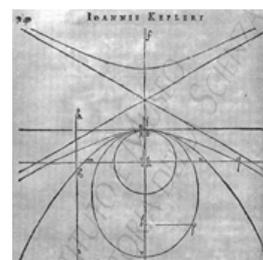


図 3. 円錐曲線の遷移図

ケプラーだが、彗星の軌道は直線であると考えていた。当時の天文学者の多くは、この説に賛同した。図3にケプラーの描く遷移図（円→楕円→放物線→双曲線→直線）を示す。

渦系宇宙論を展開したデカルトは、彗星は渦と渦の間を渡り歩くと解釈した。したがって、図4に示すように、彗星は太陽系の外を運行すると主張した。



図4. デカルトの彗星論

1680年の11月に現れた大彗星は、はじめ夜明け前に観察され、12月の近日点通過以降は日没後に出現するようになった。彗星の軌道が直線であると信じる天文学者の多くは、ふたつの彗星が交錯したと考えた。ニュートンもその一人だった。しかし、初代グリニッジ天文台長フラムスティードは、一つの彗星が太陽に近づき、反発されて反対方向に飛び去ったと主張した（図5）。はじめはフラムスティードの説を信じなかったニュートンだったが、ヨーロッパ中から数多くのデータを集め、ひとつの彗星が往復したことを確信した。ただし、ニュートンの結論は、フラムスティードのそれとは大きく異なるものだった。

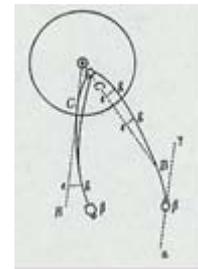


図5. 太陽に反発される彗星

4. 天体力学

エドモンド・ハレーの勧めと援助で、宇宙の支配方程式を決定した大著 *Principia* (1687) を上梓したニュートンは、その第3書（世界の体系）で1680年の大彗星を取り上げ、その軌道を作図した（図6）。これは、不測の動きをするように見える彗星ですら、万有引力の法則に従うことを明らかにした画期的な考察であった。

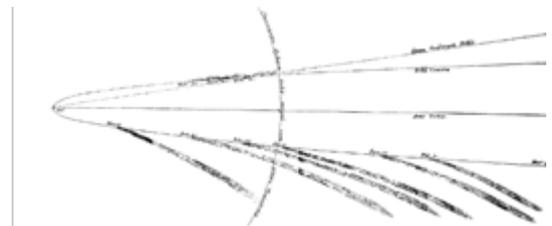


図6. 1680年の大彗星

ハレー自身も、ニュートンの万有引力の法則とその幾何学をマスターすると、現代風にいえば数値計算による軌道決定法を1705年に、王立協会の論文誌に発表した。図7にその一部を示す。あてはめるべき軌道が放物線であるため（離心率は1）、軌道のスケールは、通径のみで決まる。こうして観測データのそろっていた24個の彗星（1337-1698年）について、軌道の傾斜角・近日点位置・運行の向きなどを導出して比較検討した。そして、過去の出現記録を考察することで、1682年の彗星（すなわちハレー彗星）が1758年に再び現れることを予言した。



図7. 彗星軌道決定法

5. むすび

古今東西で禍事の先触れとして恐れられた彗星が科学の枠組みの中で理解されるには、ニュートンの出現を待たなければならなかった（1687年）。さらに、微分積分の創始者争いでライプニッツに与した大陸の科学者たちの間に万有引力の法則が遍く定着するには、ハレー彗星の帰還を待たねばならなかった（1758年）。

（文献省略）

可逆馬蹄写像のホモクリニック軌道に対する強制順序関係

山口喜博 (帝京平成大学 : 170-8445 東京都豊島区東池袋 2-51-4)

メールアドレス : chaosfractal@mac.com

谷川清隆 (国立天文台 : 181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1)

メールアドレス : tanikawa.ky@nao.ac.jp

Forcing Relations for Homoclinic Orbitp of the Reversible Horseshoe Map

Y.Yamaguchi (Teikyo Heisei University)

K.Tanikawa (National Astronomical Observatory)

Abstract:The forcing relation for homoclinic orbits of the reversible horseshoe map is studied. First, we prove that the linear ordering holds for the homoclinic orbits whose inner core's length is less than or equal to seven. Next, we prove that the homoclinic orbits are classified into families and the linear ordering holds for them.

Keywords:Reversible horseshoe map, homoclinic orbit, forcing relation and linear ordering.

2次元写像における周期軌道の順序関係に関しては具体的な写像(例: Hénon 写像)を利用した研究が精力的に行われた。特に $C^{1+\epsilon}$ 写像で位相的エントロピーが正ならば馬蹄が存在することが知られている [1]。2次元写像における周期軌道の順序関係が半順序であることは Boyland によって示された [2]。これら研究の過程で馬蹄を有する写像の研究が重要であることが徐々に分かってきた。このような写像の代表例は Hénon 写像である。最終目標は馬蹄の中に含まれる周期軌道の出現順序と、ホモクリニック軌道の出現順序を明らかにすることにある。この方向の研究を分類すると、大きく2つに分かれる。

[A] Nielsen-Thurston 理論 [3] による周期軌道の出現順序を調べる研究。

[B] 不安定多様体の弧と安定多様体の弧が作るトレリスを調べる研究。

[A] は一般的な系を考えている。得られた結果は多くの系に適用できる。つまり [A] の成果を利用して [B] の研究が行なわれている。[B] は3つに分類できる。

[B-1] 馬蹄が存在する状況から馬蹄が存在しない状況へ移行し、どのようなホモクリニック軌道また周期軌道が消滅するのかを調べる研究。枝刈り法と呼ばれる。

[B-2] 馬蹄が存在しない状態でトレリスを構成し、その性質を調べる研究。またホモクリニック軌道の分岐を調べる研究。

[B-3] 可逆性を要請し、系の中に存在する共鳴領域の構造を利用して周期軌道とホモクリニック軌道の順序関係を調べる研究。

[B1] と [B2] は散逸系でも保存系でも研究可能である。しかし、[B3] は可逆性を要請するため得られた結果は保存系にのみ適用できる。ここでは [B3] の内容を中心に議論する。

ホモクリニック軌道の記号列は $0^\infty 1c10^\infty$ と書ける。 c は有限の長さの記号列。ここで $1c1$ を核と名付ける。また、 $c1$ を内核と呼ぶ。次に内核のデコレーション記法を示す。

デコレーション D の定義。内核の長さを L とする。

(1) $L = 2$. $D = *$. このホモクリニック軌道の存在は馬蹄の存在を意味する。 $*$ は $0^\infty 1010^\infty$ と $0^\infty 1110^\infty$ の総称。

(2) $L = 3$. $D = \cdot$. $0^\infty 10010^\infty$, $0^\infty 10110^\infty$, $0^\infty 11010^\infty$, $0^\infty 11110^\infty$ の総称。

(3) $L \geq 4$. $c1$ の左端の記号と右端の2つの記号を削除した残りを D とする。

Collins[4] は馬蹄の中のホモクリニック軌道の順序関係をデコレーション表示で記述している。彼が得た内核の長さが7までの19個の軌道の順序関係を図.1(a) に示す。デコ

積雪表面に現れる雪えくぼ：パターンとメカニズム

茂木智行 *1・島田 互 *2・竹内由香里 *3・小南靖弘 *4・山口 悟 *5

Dimple-Snow Appearance : Pattern and Mechanism

Tomoyuki MOTEGI*1, Wataru SHIMADA*2, Yukari TAKEUCHI*3, Yasuhiro KOMINAMI*4, Satoru YAMAGUCHI*5

- 1) 会社員
- 2) 富山大学大学院理工学研究部 (理学領域)
- 3) 森林総合研究所十日町試験地
- 4) 中央農業総合研究センター 北陸研究センター
- 5) 防災科学研究所 雪氷防災研究センター

1. 「雪えくぼ」とは

雪えくぼとは、積雪の表面に発生するえくぼ状の凹部が発生する現象を言います。北陸地方などで降雪がった次の晴れ間にまれに観測される現象です。この雪えくぼという現象について、納口 (1984) では、平地では凹部が均一に発生することや、融雪現象に伴って発生することが示唆されています。

まず、雪えくぼが発生する前提となる、積雪について簡単に説明します。積雪は、降雪から融解までの間で地表面上にある雪のことです。雪は地表面に沿って層をなして積もります。雪の密度や強度は、降雪直後は上空・地表の気温や湿度に差異があり、時間が経過すると焼結や圧密によって変化します。さらに融雪の段階になると、「水みち」という部分的に浸透が活発な場所が発生し、積雪中に含水率のばらつきが生じます。

「雪えくぼ」は、「水みち」が積雪の表面の形状にまで影響を与えたものと考えられており、「雪えくぼ」の理解が積雪の融雪過程の理解につながります。本研究では、雪えくぼを観測し、雪えくぼの発生が、みずみちの形成や浸透過程にどのような影響を与えているのかを明らかにします。

2. 「雪えくぼ」分布の評価

雪えくぼの分布や発生のタイミングを観測するため、積雪表面をインターバル撮影し、撮影した画像から凹部の位置座標を点として抽出します。その点の分布を動径分布関数および Pair Correlation 関数で解析を行いました。

2.1 動径分布解析

動径分布関数 $g(r)$ は、ある粒子から距離 r に粒子が存在する確率を表します。一般には3次元空間の点の分布に用いますが、本研究では平面上に点が分布しているものとして計算します、

$$g_i(r) = \frac{n_i(r)}{2\pi r dr \rho} \quad (\text{式 1})$$

$n_i(r)$ は、ある点から半径 r と $r + \delta r$ の間に存在する点の数、 ρ は平均の密度とします。これを観測領域内すべての点からの $g_i(r)$ を平均して、動径分布関数 $g(r)$ とします。

$$g(r) = \langle g_i(r) \rangle \quad (\text{式 2})$$



図1 富山県立山性少年科学センター付近で撮影した雪えくぼ

2.2 Pair Correlation 解析

分布領域に r 離れた2点を任意に取り、点のまわりの小さな円領域の両方ともに点が含まれる確立を product density $p(r)$ と

します。Pair Correlation 関数は、

$$g(r) = \frac{p(r)}{\rho^2} \quad (\text{式 3})$$

のように定義できます。この解析は、島 () を参考に行いました。

2.3 分布の解析結果

図 2・図 3 で $r=0$ で両関数が 0 付近で、極大値をもつことから、雪えくぼは一定の間隔を離れて分布していることが分かった。

3. 人工降雪実験

雪えくぼが発生する瞬間の積雪の状態を観察することは難しい。特に、融雪水がどのように浸透を観測することは困難です。そこで、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟（以下、実験棟）において、室内で雪えくぼが発生しやすい積雪層を作成して、その積雪層を融雪させて雪えくぼを発生させる実験を行った。雪えくぼ発生時に、積雪表面の観測および積雪断面観測を行い、積雪表面の凹凸の変化および積雪層の物理量と温度分布を観測した。

3.1 積雪層の作成と融雪

図のような密度分布となるようになると、密度が小さい部分は降雪装置で、密度が大きい部分はふるいを用いて、積雪層を堆積させた。積雪層を 0°C 近傍まで温度を上昇させて、降雨装置を用いて表面に水を散布した。降雨中に、積雪層断面の物理量（密度・含水率・温度分布）を測定した。

3.2 雪えくぼの発生と物理量の変化

高密度の積雪層の含水率の変化は、降雨開始から徐々に高くなり、雪えくぼの発生を境い現象しているのが分かる。また、密度も同様の変化をしている。この変化は、雪えくぼ発生時、高密度でせき止められていた水が、下部に流れたことを示している。また、発生後には、高密度層で、表面から浸透してくる水がせき止められていないことが分かる。

5. まとめ

雪えくぼという現象は、降雪後のある瞬間で、積雪表面全体に一定の間隔で現れる現象ということが分かりました。また、雪えくぼが発生したか否かによって、融雪水の浸透過程に変化があることがわかった。

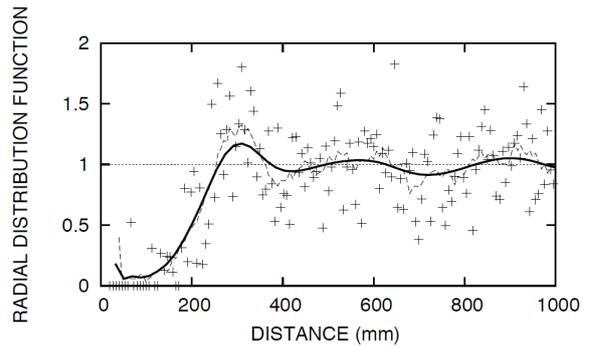


図 2 2008 年 12 月 28 日に森林総合研究所(十日町)敷地内で観測された雪えくぼ分布の動径分布解析結果

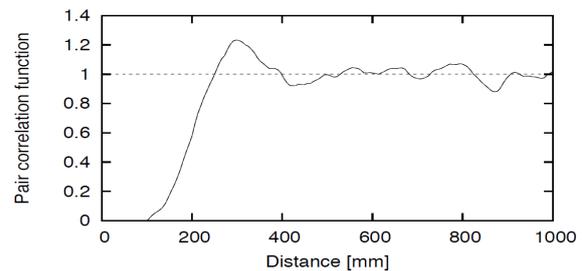
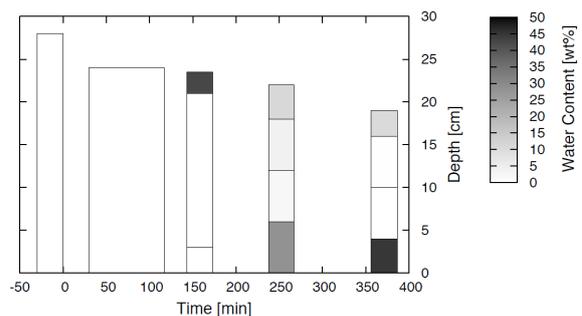


図 2 2008 年 12 月 28 日に森林総合研究所(十日町)敷地内で観測された雪えくぼ分布の Pair Correlation 関数解析結果



三日月型砂丘の衝突ダイナミクス

勝木厚成¹, 西森拓², 遠藤徳孝³, 谷口圭輔⁴, 菊池誠⁵

1. 日本大学理工学部, 2. 広島大学理学研究科, 3. 金沢大学自然科学研究科, 4. 同志社大学理工学部, 5. 大阪大学サイバーメディアセンター

1. 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1

1. katsuki@phys.ge.cst.nihon-u.ac.jp

Collison dynamics of barchans using a cellular model

Atsunari Katsuki¹, Hiraku Nishimori², Noritaka Endo³, Keisuke Taniguchi⁴, Macoto Kikuchi⁵

1. College of Science and Technology, Nihon University, 2. Department of Mathematical and Life Sciences, Hiroshima University, 3. Department of Earth Sciences, Kanazawa University, 4. Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, 5. Cybermedia center, Osaka University

1. 7-24-1, Narashino-dai, Funabashi, Chiba, 274-8501, Japan, 274-8501

Abstract: Sand dunes are found in many places such as deserts, the sea bottom and the surface of Mars. They are formed through interplay between sand and airflow or water flow. We focus on the collision processes between barchans, which are crescent. Here we used a cellular model of dune. The model shows three types of collision patterns: coalescence, ejection, and reorganization. Also we found that the type of collision is determined by competition between the filling-up of the interdune between two barchans and the change in height of each dune.

Keywords: sand dune, barchan, collision process

はじめに 砂丘は砂の量や風向きによって様々な空間パターンをとることが知られている。特にバルハンという三日月型の砂丘は特徴的で見た目にも美しいので、数多くの研究がなされてきた[1]。しかし、砂丘同士の相互作用の研究、特に衝突現象は、数年から数十年というタイムスケールの長さのために、その過程を観測などで追うことは難しく、ほとんど研究されてこなかった。今回、我々は水槽下で砂丘の衝突実験を行い、そこで見られた衝突過程を計算機で再現した。

数理模型 砂丘模型としては、砂丘を再現するもっとも簡単なモデルとして Coupled lattice model をつかうことにする。そして、砂移動のプロセスとして2つのプロセスを考える。1つ目は、風によって砂が飛ばされる過程 (Saltation と呼ばれる) で、単位時間に飛ぶ距離 L_s と飛ぶ砂の量 M_s を以下の式の様に定義する。

$$L_s = a + bh(t) - ch(t)^2$$

ここで、 $h(t)$ は砂の高さで、パラメータは $a=1.0$, $b=1.0$, $c=0.01$ とした。上式は、高さによって飛ぶ距離は長くなるが、有限距離しか飛ばない事を意味している。ただし、シミュレーションでは上式の増加関数部分だけを使うことにする。2つめのプロセスは雪崩

(Avalanche)である。これは、砂の一般的な性質で、斜面が安息角より大きくなると斜面の最も急勾配の方向へ砂が流れるプロセスである。ここでは砂の安息角は34度としてある。

数値実験 このモデルを使って砂丘を形成したところ、砂量と風の方向数によって三日月型砂丘(図)、縦状砂丘、横列砂丘、星形砂丘が再現することができた。ここで、三日月型砂丘に注目し2つの三日月型砂丘の衝突過程を調べる[2]。まず、中心軸位置が同じで風上砂丘が小さい場合、風上砂丘は風下砂丘に吸収されてしまう(合体プロセス)。このとき、一時的にいびつな形になるが最終的には三日月型にもどっていく。このプロセスを合体と呼ぶことにする。次に風上砂丘の質量がある程度大きい場合、一時的に合体し、その後風下砂丘から、小さな子バルハンが出てくる。このプロセスを貫通と呼ぶことにする。

解析 このような振る舞いをすることを理解するために、風方向にそった断面図の時間発展をみた。すると、貫通が起こるときにはいつも、風上砂丘の高さが低く、風下砂丘の高さは高くなり、高さの入れ換わりが起こることがわかった。これは、風上砂丘が風下砂丘に乗り上げるために、風下砂丘の砂の一部が飛べなくなり、風下砂丘は低くなる。それに対して、風上砂丘は風下砂丘の斜面を登ることで高くなると考えると理解できることがわかった。そして、この考えをもとにして砂丘衝突の時間発展方程式を導くことができ、その特徴はシミュレーションを再現していることが分かった。

まとめ 単純なモデルを用いて2つのバルハン砂丘の衝突現象をシミュレーションした。この振る舞いはいくつかの特徴を示している。1、風上砂丘が近づくことによって風下砂丘の一部がえぐれる。2、分裂するとき、離れていく砂丘はしばらくの間、元の砂丘と砂の道のようなものを通してつながっている。3、衝突途中はいびつな形をしても、最終的には三日月型にもどる。次に砂丘断面でそれぞれの砂丘高さの時間発展をみることによって、分裂するときには、風上砂丘と風下砂丘の高さが入れかわること、合体するときには風上砂丘の高さと谷の高さが同じになって合体することがわかった。また、砂のMass balanceから発展方程式を導き、その振る舞いはsimulationの合体、分裂と同じであることをみた。



図：数値実験による三日月型砂丘

[1] Bagnold, R. A, The Physics of Blown Sand and Desert Dunes (Methuen, London, 1941)

[2] Katsuki, A., Nishimori, H., Endo, N. and Taniguchi, K., 2005a, Collision dynamics of two barchan dunes simulated by a simple model, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **74**, 538-541.

ダイニンとマイクロチューブが作る自走粒子のパターン形成

永井 健^a、住野 豊^b、Huges Chaté^c、大岩 和弘^{d, e}^a東大理、^b愛知教育大教育、^cCEA-Saclay、^d未来 ICT 研究所、^e兵庫県立大学

東京都文京区本郷 7-3-1

nagai@daisy.phys.s.u-tokyo.ac.jp

Pattern formed by microtubules and dyneinsKen H. Nagai^a, Yutaka Sumino^b, Huges Chaté^c, Kazuhiro Oiwa^{d, e}^aUniv. of Tokyo, ^bAichi Univ. of Education, ^cCEA-Saclay, ^dKobe AdvancedInformation and Communication Technology Research Center, ^eUniv. Hyogo

7-3-1, Hongo, Bunkyo, Tokyo

Abstract: Flocks of birds, schools of fish; both represent types of the collective motion of self-propelled objects. Although these systems possess internal states, such as memories, they are often modeled using self-propelled objects without additional internal states. Here we demonstrate that a simple additional variable, indicating an internal state, of a self-propelled object dramatically alters collective behavior. We used microtubules spontaneously moving on an axonemal dynein-coated surface as an experimental system. A group of microtubules self-organized into stable vortices to form lattice structure. Examination of the motion of a single microtubule confirmed the persistency in the curvature of its trajectory. A mathematical model adopting such persistency in curvature as a memory effect reproduced the vortex lattice.

Keywords: Collective motion, Active matter, Dynein, Microtubule

背景: 生物の運動など非平衡開放条件下においては物体の自発運動が起こる。このように自発的に対称性を破り運動する系はアクティブマターと呼ばれ、生物・非生物を問わず近年盛んに研究されている。これまでに我々は表面張力に駆動される液滴の運動を用いて物体の自発運動に関する研究を行ってきた[1]。アクティブマターの研究は単体粒子の運動だけでなく多粒子の集団についての研究も行われている。よく知られた現象としては鳥の集団運動や海で観察されるいわし玉などが挙げられる。このような生物の集団運動の理解のため、Vicsekらによって数理モデルが提唱された[2]。この数理モデルの研究により、運動方向を揃える相互作用を持つ粒子集団について、粒子密度を上げていくとある臨界密度で運動方向について秩序・無秩序転移を起こすことがわかった。またその後様々なモデルが提唱され、それらの解析から粒子数の0.5乗よりも大きい密度ゆらぎ(Giant fluctuation)、周期的に形成される密度の濃いバンドなど熱揺らぎによって駆動される粒子集団には見られない現象が発見された。近年これらの現象がSchallerらのアクトミオシン系による実験によって示されたこともあり、向き相互作用を持つ自己駆動粒子集団の研究が活発に行われている[3]。

問題点: 自己駆動粒子の運動速度や移動方向は一般に過去の履歴に影響される。例えば生物は周りの環境を記憶しながら運動する。また変形する粒子なら、時間変化が遅い形状のモードが記憶として働くだろう。田中や太田等によってこのような内部状態を持つ自己駆動粒子に関する数理モデルが提唱され[4, 5]、その運動が解析されている。向き相互作用を

持つ自己駆動粒子については内部状態を考慮した解析はこれまでにほとんど行われてこなかった。例えば上記のような Vicsek モデルは運動方向がホワイトノイズによって変化し運動の履歴を考慮していない。また、Schaller らの実験は Vicsek モデルをもとにした解析を行っており、運動の履歴についての解析は行っていない。

今回行った実験: 今回我々は運動の記憶を持つ自己駆動粒子としてダイニン上のマイクロチューブを用い、その集団におけるパターン形成の実験を行った。ダイニンはモーター蛋白の一種であり、生体内でマイクロチューブ上をマイナスエンドに向かって移動する。今回の実験ではガラス表面上に多数のダイニンを固定し、その上にマイクロチューブを置くとダイニンに駆動されて運動する。ガラス表面上のダイニンは多数であり様々な方向を向いているため、マイクロチューブはガラス表面上を任意の方向に動くことができる。このマイクロチューブの運動を解析すると、ランダムに運動するが、軌道の曲率が長時間維持されることがわかった。これは軌道の曲率について記憶を持つことを意味する。また、2本のマイクロチューブが衝突すると、その運動方向が 0 度か 180 度に揃うことがわかった (図 1)。この実験系でマイクロチューブを臨界密度以上にすると図 2 に示すような渦の格子が広範囲にわたって形成されることがわかった。

数理モデル: 我々はこの渦の格子の形成メカニズムを明らかにするため、下のような数理モデルを提案した。

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{x}_i}{dt} &= v_0(\mathbf{e}_x \cos \theta_i + \mathbf{e}_y \sin \theta_i) \\ \frac{d\theta_i}{dt} &= \omega_i + a \sum_{j \in |\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j| < l} \sin 2(\theta_j - \theta_i) / \sum_{j \in |\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j| < l} \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= -\frac{1}{\tau}(\omega_i - \omega_0) + \xi_i(t) \end{aligned}$$

θ は運動方向、 τ は軌道の曲率の持続時間である。また、 ξ はホワイトガウシアンノイズである。このモデルを用い、 τ 及び密度が十分大きい時渦の格子が形成されることを明らかにした。また、 τ と密度をパラメータに相図を描き、泡状パターンなど様々なパターンが生じることを示した。

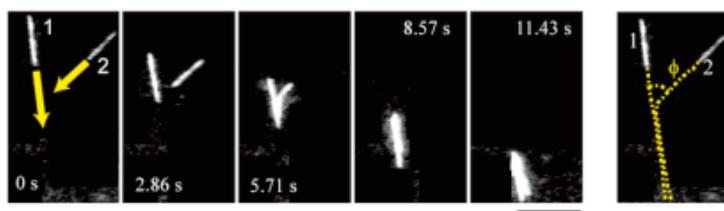


図 1: 2本のマイクロチューブの相互作用。スケールバーは 10 μm 。

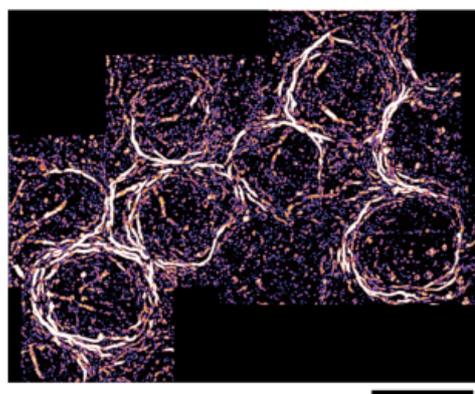


図 2: マイクロチューブの作る渦の格子パターン。スケールバーは 500 μm 。

- [1] K. Nagai, et al., Phys. Rev. E (2005).
- [2] T. Vicsek, et al., Phys. Rev. Lett. (1995).
- [3] V. Schaller, et al., Nature (2010).
- [4] D. Tanaka, Phys. Rev. Lett. (2007).
- [5] T. Ohta and T. Ohkuma, Phys. Rev. Lett. (2009).

画素分散化表示による視認性の改善

根岸利一郎, 関口久美子
 埼玉工業大学, 埼玉県深谷市普濟寺 1690
 E-mail: negishi@sit.ac.jp

Improvement of visibility by the expression using dispersed pixels

Riichirou Negishi, Kumiko Sekiguchi

Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya-city, Saitama pref. Japan

Abstract: In case of forms expressed in images, the time recognition can be improved at faster rate if the pixels are expressed dispersedly. This report is analytical results for the dispersion techniques.

Keywords: visibility, golden ratio, prime number, aspect ratio

1. 視認性と画素分散化

視認性は、視対象が他とはっきり区別されて見えるか否かの特性を言うが、その識別には、色による識別や形による識別が含まれる。

表示画像内の形を識別する場合には、画像を一定空間に分割して、それを適当にばらつかせて表示させれば画面全体の識別が早くなる。その分割方法の代表例にインターレースと呼ばれる方法がある。これは表示対象画像を数行おきに表示させることにより、最初は低解像度で、次第に解像度を上げていく方法である。そのことによって時間的に早い段階で形が認識できる。しかし、この方法では表示が数行間隔などのために画像全体を識別する視認性向上に限界がある。その他の方法に画像全体の概観を識別させるために縮小画像を見本として見せるサムネイル表示がある。サムネイル表示は多くの画像を一度に見せて選択させる場合などに有効であり、大まかな画像として識別できる利点があるが、細部が見えない場合は結局画像を何度も読み込む必要が生じる。そこで、視認性を高めるために画像を画素毎に分散化した表示を検討する。



図1. 元画像

2. 分散化表示とアスペクト比 (横縦比)

図2は図1の元画像の一部 (アスペクト比 400:400 の 160000pixels) を次の方法で 10%表示した場合である。この場合の画素の表示順は次式で計算した R_m を次の R_{m-1} として逐次計算して求めた。

$$R_m = \text{MOD}((R_{m-1} + G_{n-1}), G_n), \quad G_n : \text{画素数}$$

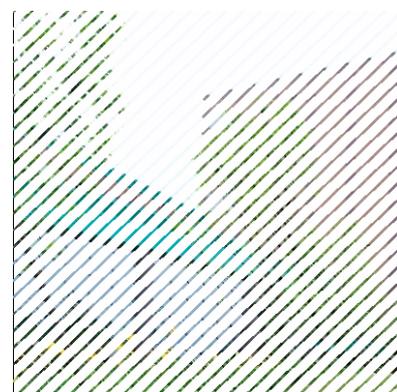


図2. アスペクト比 400:400 の画像を $G_{n-1} = G_n / \tau$ を使って 10%表示した

この計算では G_{n-1} として G_n/τ (τ は黄金比) を使用した¹⁾。

図 3(a) は図 2 と同じ画像を $G_{n-1} \approx G_n/\tau^2$ を使って分散化して 10% 表示した結果である。また, (b)(c) は同じ画素数(160000pixels)の画像で, アスペクト比の異なる画像を(a)と同じ方法で表示させた結果である。(a)(b)(c)ともにほぼ一様に分散化する。



図 3. 異なるアスペクト比の画像を分散化してその 10% を表示した。(a)(b)(c) それぞれの数値はアスペクト比 (横縦比) を示す。 $G_{n-1} \approx G_n/\tau^2$ を使用

この G_{n-1} の違いによる分散化の度合いを調べたのが図 4 である。これは画素数 10000 の画像において表示した任意の点の位置(452 番など)からの前後 10 点の距離がどの程度分散しているかの度合いを横軸の G_{n-1} の変化に応じて調べたものである。分散化の度合いを示すピークは G_{n-1} が大きくなる方向に移動する傾向を示す。

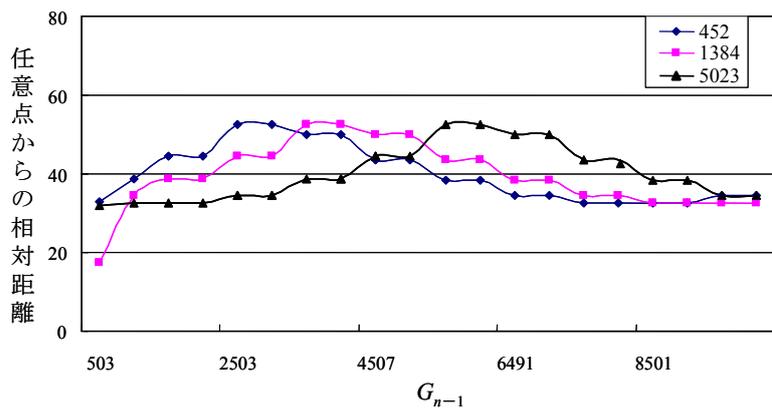


図 4. G_{n-1} の違いによる分散化の度合いの推移

3. 円画像表示との比較

視認性への効果に影響する画素分散化は G_{n-1} やアスペクト比によって異なるが一定の傾向を示している。また, 円画像の場合の画素の分散化表示は図 5 に示す結果である。この表示画素の配置はフィボナッチスパイラルの配置であり²⁾, $G_{n-1} \approx G_n/\tau$ とした。これらの検討結果を報告する。

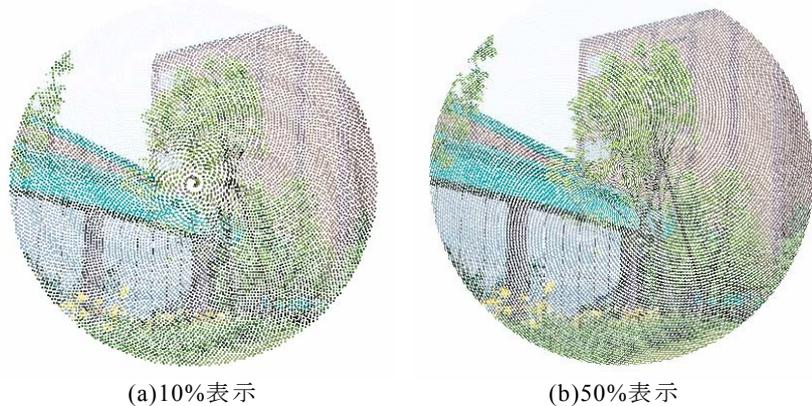


図 5. 円画像の分散化表示

1) 根岸利一郎, 関口久美子, 立川大将(2007), 形の科学会誌, 23, 222-223.

2) Negishi, R. and Sekiguchi, K.(2007), *Forma*, 22, 207-215.

あたけぼねシザーズ構造の展開過程その1 あたけタワー

阿竹 克人

株式会社 阿竹研究所 〒468-0068 名古屋市天白区表台15

atake@atake-i.com

The developing process of the ATAKEBONES scissors technique part1 ATAKETOWER

ATAKE Katsuhito

ATAKE Institute Inc. 15 Omoteadi Tenpakuku Nagoya Japan

Abstract: The scissors system ATAKEBONES characterized by the scissors based on diagonal of isosceles trapezoid and the flexible hinges, can be also applied for the towers. On the developing process the height of the tower is acquired as the reduction of the plenary shape. The useful applications of this system in space etc. are expected.

Keywords: scissors folding-structure ATAKEBONES dome polyhedron

はじめに

あたけぼねシザーズ構造体（ハサミ状の骨組みを組み合わせる展開構造）のシザーズは等脚台形の対角線を基本としており、ドームや直方体、ピラミッドや多面体のほか、動物や椅子といった具体的な形状にすることもできる。これらの構造の展開過程は台形の対角線の交角の変化によって決定される。市販されているキットは水平に単位構造体を接合するタイプであるが、垂直方向に長さの違う構造単位を積み上げることによりタワー状の展開構造を構成することも可能である。後者（あたけタワー）は多様な変化を伴う前者より展開過程が単純であるのでまずこれについて詳述する。

あたけタワー

本システムはシザーズを多角形状に接合したものを基本単位とするが、シザーズの交点ピンの位置で、コーン(cone)タイプとスキュー(skew)タイプに大別できる。このうち交点の接合部を共有して上下に接続可能なものはコーンタイプ、すなわちすべてのシザーズの向きが上下方向にそろっているタイプのみで、形状として安定なものは底面が三角形のタワーのみである。四角以上のタワーでは形状が不安定になるが、場合によっては不安定さを利用してより小さくたたむことも可能になる。

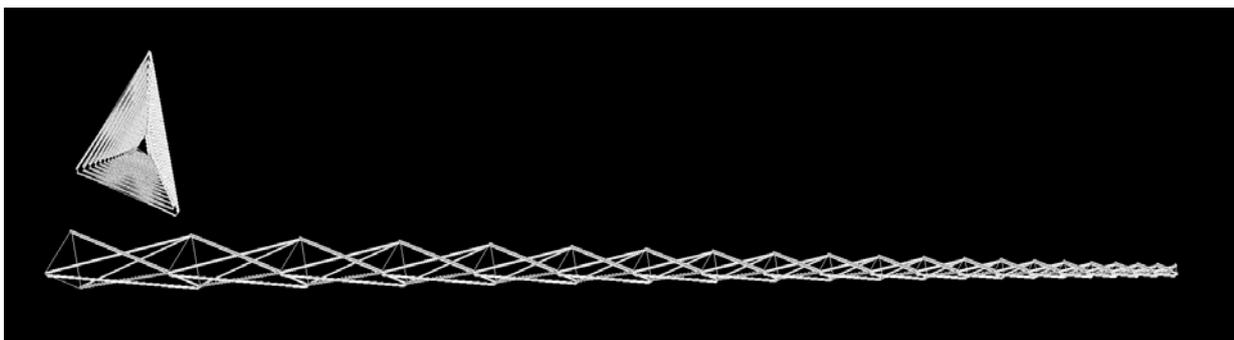


FIG 1. 三角タワーの例 一段づつの比が10:9の20段。完全に平らになるまでたためる。

展開過程

あたけタワーの展開過程は平らな状態(2D)から交角の変化に伴って高さを持ち(3D)、シザーズが閉じた状態(交角 0)で数学的には直線(1D)に収束するが、不安定になるので工学的には実用的な交角でとめる。格段に水平のテンションベルトを入れると剛性が得られる。

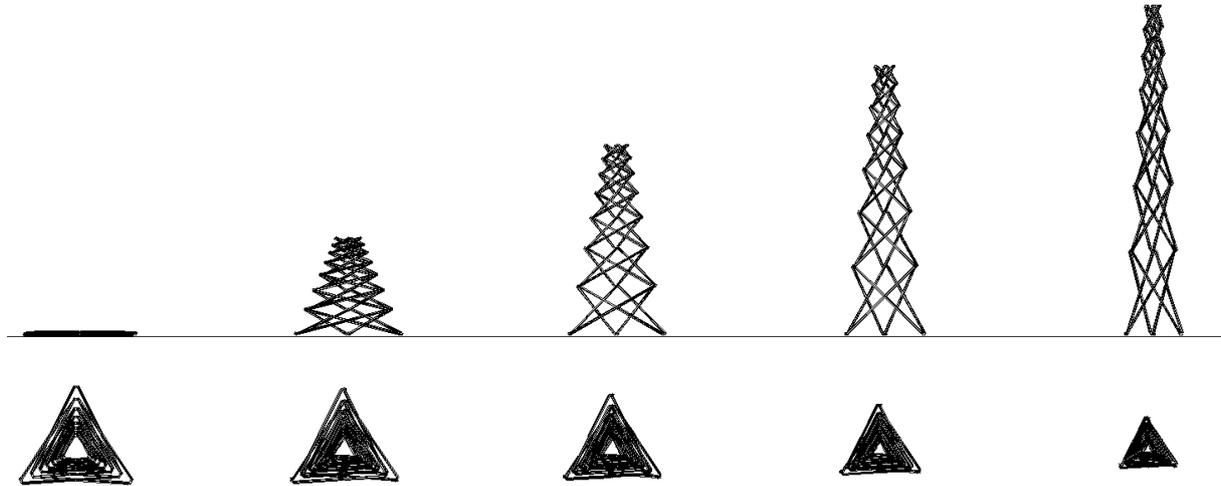


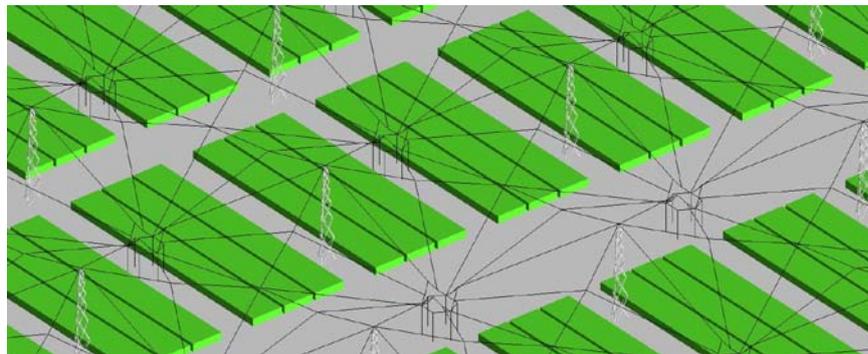
FIG2. タワーの展開過程 上が立面 下が対応する平面 平面が縮小するにつれて高さを獲得する構造体の高さは平面図が基本的に相似形を保ったまま縮小することによって得られ、縮小率を d (部材長/投影長さ)とすると高さ h は次式で表される。ちなみにこれは基本的にローレンツ短縮の式とおなじである。(この b あい D は速度と光速との比)

$$h = \sqrt{1 - d^2}$$

部材がすべて垂直になったとき高さは描くシザーズ部材長さの格段の総和になる。

応用

このタワーは格段を水平に締めることで安定的に高さを得られるので、さまざまな応用が考えられる。Fig1 は宇宙で太陽電池などを広げる展開マストへの応用を考えた物である。



またこのタワーを平面に格子状に配することによって大規模な土地に効率的に膜屋根をかけることができ、砂漠などを水耕栽培方式で植物工場化できると考えている。

FIG3. 大規模植物工場への応用

参考文献 ATAKE Katsuhito Diagonal and Variable Frame Structures Katachi U Symmetry Extended Abstract university of Tsukuba pp345-348 1994 他

URL <http://www.atake-i.com/cgsumple.htm> 他

太陽電池サブモジュール用集電線パターンの最適化の実証実験

大日方圭、加藤直彦、竹田康彦、元廣友美

(株) 豊田中央研究所、愛知県愛知郡長久手町長湫字横道 4 1 の 1

e1437@mosk.tytlabs.co.jp

Experimental proof of geometrical optimization for collector electrode pattern in solar cell sub-modules

Kei Obinata, Yasuhiko Takeda, Naohiko Kato and Tomoyoshi Motohiro
TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC., 41-1, Yokomichi, Nagakute, Aichi 480-1192,
Japan

Abstract: We have previously constructed a simulation model to find the possibility to improve conversion efficiency of solar cell sub-modules by optimizing collector electrode pattern. According to the simulated results, we have fabricated electrodes of 10 cm×10 cm in size with patterned metal collectors, and revealed that electric resistance for the optimized pattern was significantly reduced compared to that for the standard pattern.

Keywords: Solar cells, Energy conversion efficiency, Wiring pattern,

1. はじめに

太陽電池の大面積化に向けた課題の1つは、大面積化した場合の変換効率の低下である。例えば、色素増感型太陽電池の場合、約1cm²のセルの変換効率は10%程度であるのに対し、サブモジュール化した面積25cm²のものでは8%程度になる¹⁾。この変換効率低下の主な要因は、

- ①外部電極までの距離の増加による電気抵抗の増加
- ②電気抵抗の増加を抑制するために抵抗のより小さい太い金属集電線を引くことによる発電可能な面積の低下(Shadowing loss)

である。集電線を太く緻密にすれば①は低減できるが、②はより顕著になる。これまでに、集電線を含んだ太陽電池サブモジュールの変換効率を数値計算シミュレーションにより求める方法を開発した。これを用いた集電線パターンの最適化により、①、②の低減を両立できること、即ち、発電可能面積を確保しつつ電気抵抗を低減できることを今年の会にて報告した^{2),3)}。その結果を基に、金属集電線を形成した電極試料を作製し、電気化学的測定により上記①、②の両立の効果を実証した。

2. 実験

2-1 集電線パターン

図1のような10 cm×10 cmの集電線パターンを透明導電膜付きガラス上に形成し、電極試料として用いた。図中黒線部に先ず銀ペーストを、次いでガラスペーストをスクリーン印刷し、焼成した。図1の1が標準的なパターンである。パターン2～4は、シミュレーションにおいてパターン1よりも高い変換効率を示したものを基に、作製の便のためにわずかな変更を加えたパターンである。何れの試料も、透明導電膜が露出した部分(太陽電池の発電部分に相当)の面積はほぼ共通である。

2-2 測定方法

図2のような系を用いて、金属集電線付き電極試料の電気抵抗を測定した。対極（負極）には厚さ1mmの銅板、電解液には濃度500mMの硫酸ナトリウムを用いた。実際の太陽電池では集電線部分は発電しないことを模すため、作製した電極試料でも、集電線表面を電解液から絶縁し、集電線からの電流が透明導電膜を経由して電解液へ流れるようにした。

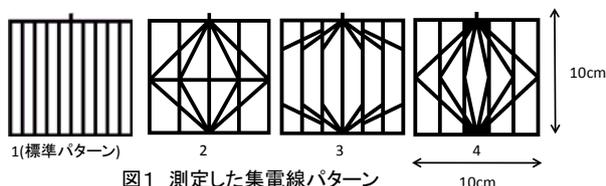


図1 測定した集電線パターン

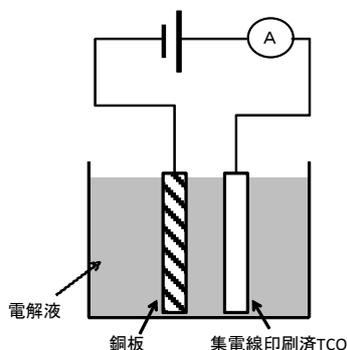


図2 実験の概略

3. 測定結果と考察

図3に測定結果を示す。各パターンの印加電圧2.4, 2.7Vでの電流値を示している。電流値が大きい方が、電気抵抗が小さく良いパターンであるといえる。パターン2, 3はパターン1より低い電流値となっており、この原因は今のところ不明である。パターン4はパターン1と比較して印加電圧2.4Vでは83%、2.7Vでは48%高い電流値が観測された。パターン4を応用した太陽電池をパターン1のもの比べると、発電部分の面積はほぼ共通であるため短絡電流はおおよそ同じ値となる。一方、電池の内部抵抗が小さくなるため形状因子が向上し、その結果変換効率が高くなることが期待できる。

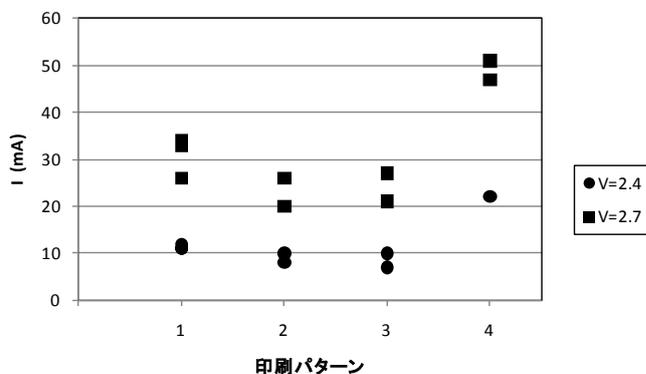


図3 測定結果

参考文献

- 1) Green M. A., Emery K, Hishikawa Y, Warta W., *Progress in Photovoltaics: Res. Appl.*, Vol. 17, pp. 85-94 (2009).
- 2) 大日方 圭, 竹田 康彦, 元廣 友美, 「太陽電池における集電線パターンの幾何学的最適化の検討」, 形の科学会誌第24巻 第2号 pp. 112-113 (2009)
- 3) 大日方 圭, 竹田 康彦, 元廣 友美, 「太陽電池変換効率が集電線パターンの工夫により1.2倍程度向上する」, 形の科学会誌第25巻 第1号, pp. 75-76 (2010)

72°の内角を2つ備えた4等辺凸五角形を使って タイリングを作ってみよう！

杉本晃久

科学芸術学際研究所 ISTA, 〒351-0036 朝霞市北原 2-5-28I 鈴木第2ビル 211

ismsugi@gmail.com

最近、木工職人の中川宏さんと知り合う機会があり、中川さんに図1のような凸五角形タイルの木製模型を作ってもらった。この模型を使って実際にタイリングを作ることを経験してもらいたいと思う。また、この模型の凸五角形を使ったタイリングに関するいくつかの問題も掲載してあるので挑戦してほしい。

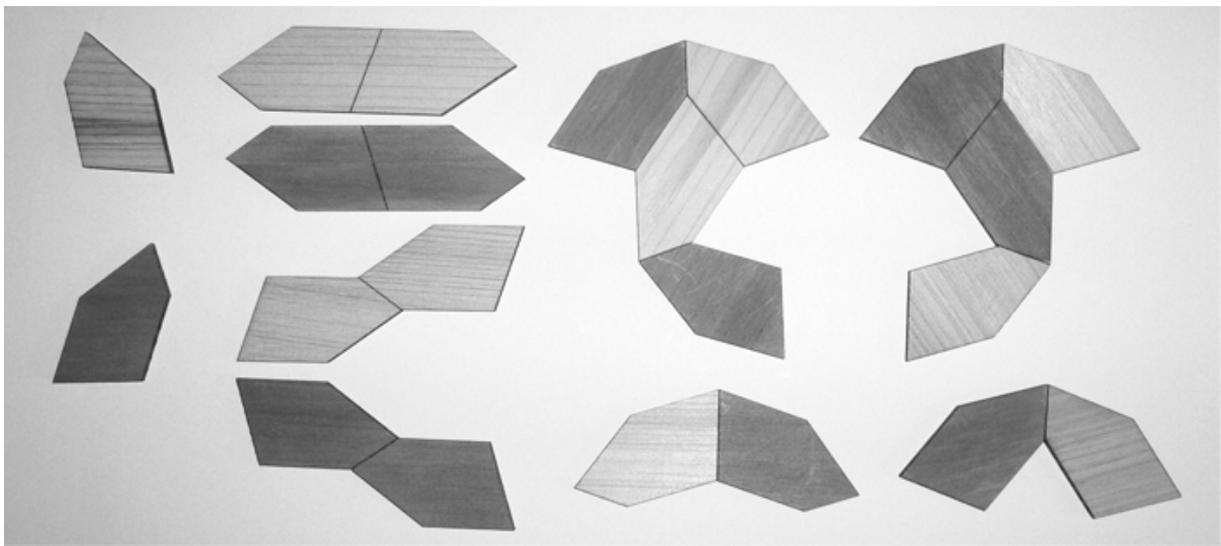


図1. 中川さんに制作して頂いた凸五角形タイルの模型.

図2 (a)の凸五角形は、同じ長さの辺同士のみが隣り合うようなedge-to-edgeタイリングを作ることができる。例えば、図2の(b)もしくは(c)のように凸五角形2枚張り合わせることで、図2 (d)のようなタイリングを作れる。図2の(b)もしくは(c)のような平行移動のみでタイリングを作りだせるユニットを、基本領域と呼ぶ。図2 (a)の凸五角形は、図2 (d)のedge-to-edgeタイリング以外のedge-to-edgeタイリングを作ることが可能である。どのようなedge-to-edgeタイリングを作れるだろうか？なお、タイリングには裏返した凸五角形を使うことも可能である。

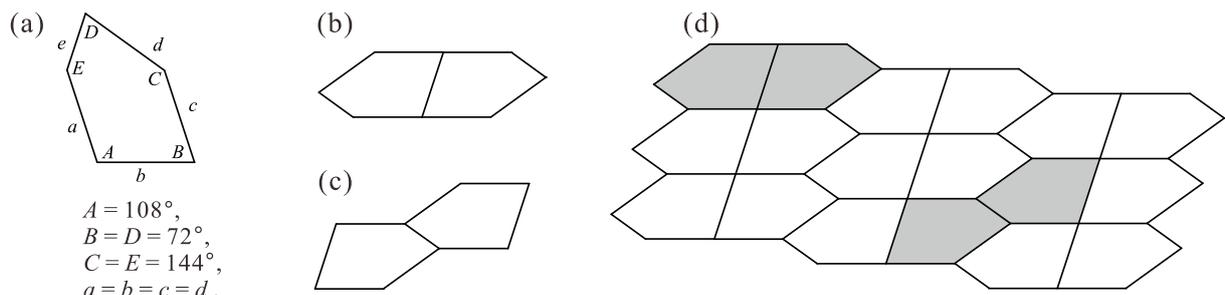


図2. 72°の内角を2つ備えた4等辺凸五角形タイル.

運動性シアノバクテリアのコロニーパターン形成のダイナミクス

深澤有貴¹, 岩崎秀雄^{1,2}

1. 早稲田大学理工学術院 2. *Metaphorest*, 東京都新宿区若松町 2-2
yuki-f.bc@asagi.waseda.jp

The dynamics of colony pattern formation of motile cyanobacteria

Yuki Fukasawa¹, Hideo Iwasaki^{1,2}

1. Faculty of Science and engineering, Waseda University 2. *Metaphorest*
2-2 Wakamatsu-cho, Shinjuku, Tokyo

Abstract: We have found that the photosynthetic filamentous cyanobacterium, *Geitlerinema* sp. shows an interesting and complicated colony pattern formation both on solid and in liquid media. This bacterial strain moves back and forth repeatedly and develops specific colony patterns depending on the agar concentration. We suggest a possible importance of its oscillating behavior on the resulting colony patterns. Based on this hypothesis, we compared its pattern formation process with that of the non-oscillating filamentous species, *Pseudoanabaena* sp.

Keywords: colony pattern formation, oscillation, cyanobacteria, morphology diagram, fractal, phototaxis

バクテリアは積極的に環境条件に適応し集合体としての形を変えることで多様なパターンを呈する (1, 2)。そこで私たちは、多細胞性 (糸状性) シアノバクテリアの個体群が運動を伴って形成する極めて動的かつ複雑なコロニーパターン形成現象に着目し、その時空間発展ダイナミクスと環境適応能について解析している。

岩崎が学内の池から単離した2種の運動性シアノバクテリアは、特異なコロニーパターンを呈する (3)。このうち *Geitlerinema* の近縁種は、振動運動を繰り返しながら、寒天濃度に依存する特徴的なコロニーパターンを示した。例えば高寒天濃度の培地上では、しばしばフィラメントはとぐろを巻いたような円形パターンを示すが、低寒天濃度では円形パターンが消失し、液体培地では縦糸と横糸で織りなされたような布状構造を呈した。寒天培地上でも液体培養中でも *Geitlerinema* は個体レベルで活発に移動するが、一度通ったルートを他の個体も移動する性質 (一種のチャンネル形成) と、個体レベルに見られる往復運動により、全体としてのコロニーパターンには強い構造安定性が認められる。これらを踏まえ、*Geitlerinema* の円形パターン形成に関して軌道安定化モデルを提案した。一方、別種の運動性シアノバクテリア *Pseudoanabaena* は振動運動をほとんど行わない。*Geitlerinema* と同様に寒天濃度に依存しコロニーの形状が変化するが、*Pseudoanabaena* の形成する渦パターンは流動的である。両種のコロニーパターン形成を比較し、形態形成に対する振動現象の重要性を報告する。

1. 松下貢・三村昌泰「バクテリアコロニーの多様性」(三村監・松下編『非線形・非平衡現象の数理2 生物にみられるパターンとその起源』pp1-47)
2. Ben-Jacob E, Garik P (1990) "The formation of patterns in non-equilibrium growth" *Nature*, 343: 523-530
3. 久保田晃弘・岩崎秀雄 (2009) 「バイオメディア・アート」*多摩美術大学論集*, 24:177-186

流れのシミュレーションとその可視化

升水 厚

masumizu@icfd.co.jp

桑原 諸兄

moroe@icfd.co.jp

株式会社計算流体力学研究所 目黒区原町 1-16-5

Flow Simulation and Visualization

Atsushi Masumizu

Moroe Kuwahara

Institute of Computational Fluid Dynamics, 1-16-5 Haramachi, Meguro, Tokyo

ABSTRACT: Incompressible high-Reynolds-number flows are simulated by solving the Navier-Stokes equations. A finite-difference method with third-order upwinding are employed without using any turbulence model. Multi-directional formulation is applied for improved accuracy. Examples are presented to show the applicability of the present approach to variety of problems. For understanding computational results, visualizing is very important.

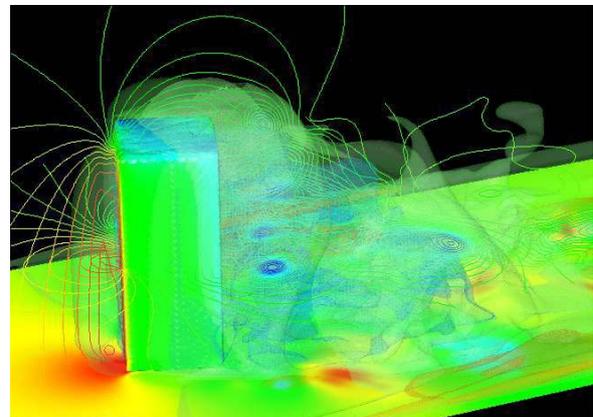
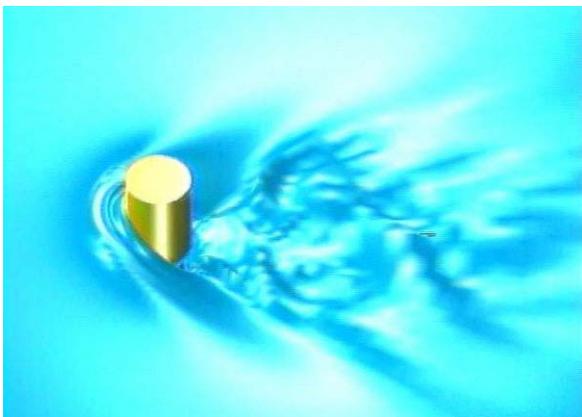
Keywords: Fluid mechanics, Navier-Stokes equations, Simulation, Visualization

1. ナビエ-ストークス方程式

流体の運動は、運動量保存則に相当する「ナビエ-ストークス方程式」という 2 階非線形偏微分方程式で記述される。非定常な流体现象を理解するためにはナビエ-ストークス方程式をコンピュータを使って数値的に直接解くことが最良である。

2. Implicit Large Eddy Simulation

非圧縮性粘性流体の非定常シミュレーション手法として Implicit Large Eddy Simulation (ILES) を採用する。ILES は (1) 3 次精度上流差分法と (2) 多方向上流差分法から成り、乱流の数値計算に適している。可視化例をいくつか示す。



【参考文献】

「流体計算と差分法」朝倉書店(2005年) 桑原邦郎・河村哲也編著

個体の運動形質の違いによるバクテリアコロニーの パターン形成シミュレーション

森河良太, 宮川毅, 高須昌子

東京薬科大学 生命科学部, 東京都八王子市堀之内 1432-1

morikawa@ls.toyaku.ac.jp

Simulation study of bacterial colonies formed by different locomotion of individuals

Ryota Morikawa, Takeshi Miyakawa and Masako Takasu

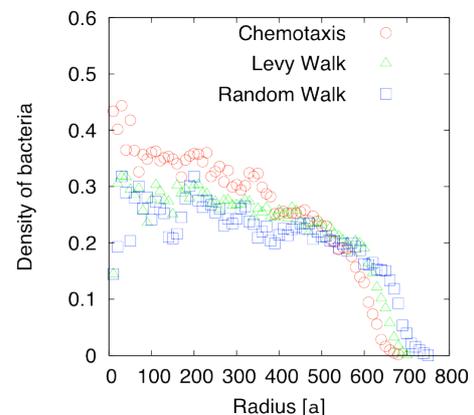
School of Life Sciences, Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences,
1432-1, Horinouchi, Hachioji, Tokyo, 192-0392, Japan

Abstract: Pattern formation of bacterial colonies and their microscopic dynamics are studied using simulation model treating bacterial individual. Applying three kinds of locomotive rules to bacteria, we find that the difference of these rules is not correlated with the final patterns of the bacterial colony, but is correlated with the dynamics of their formation processes.

Keywords: bacterial colony, computer simulation, individual model

自然界に広く見られるバクテリアの一種である枯草菌は、周囲の環境の変化に応じて、寒天培地上に様々なパターンのコロニーを形成することが知られている。我々はその現象に対して個体レベルから解析できる理論モデルを考案し、コロニー形成過程における微視的レベルの研究を、計算機シミュレーションによって行ってきた[1]。このモデルにおいて、バクテリアは寒天培地上で養分を競争的に獲得するような、走化性を遺伝的形質として持つことを仮定していた。しかしバクテリアの持つ走化性は、コロニーのパターン形成を決定する主たる要因ではないという可能性も提示されており、モデル計算によるより詳細な解析が望まれている。

そこで本研究では、バクテリアが固有に持つ運動様式として、「走化性 (Chemotaxis)」、「ランダムウォーク (Random Walk)」、「レヴィウォーク (Levy Walk)」の3種類をモデルの中に設定し、それぞれの運動がコロニー形成に与える影響を解析した。その結果、十分時間が経過した後の最終的なバクテリアコロニーの形状については、ほとんど相違は見られなかったものの、それぞれの形成過程におけるマクロな形状変化には、幾つかの相違点が認められた。



(図) コロニー形成過程における中心からの個体密度の変化。aは単位長を表す。

[1] R. Morikawa, M. Kasahara, Y. Ueno and M. Hayashi, FORMA **18** (2003), 59.

ストローと輪ゴムで作るテンセグリティ

工藤 清

手づくりおもちゃの科学館、福井市中野二丁目 1 1 0 4

kiyosiko@plum.plala.or.jp

Straw and rubber band tensegrity

Kiyoshi Kudo

Pavilion of handicraft science toys

1104, Nakano-2chome, Fukui 918-8186 Japan

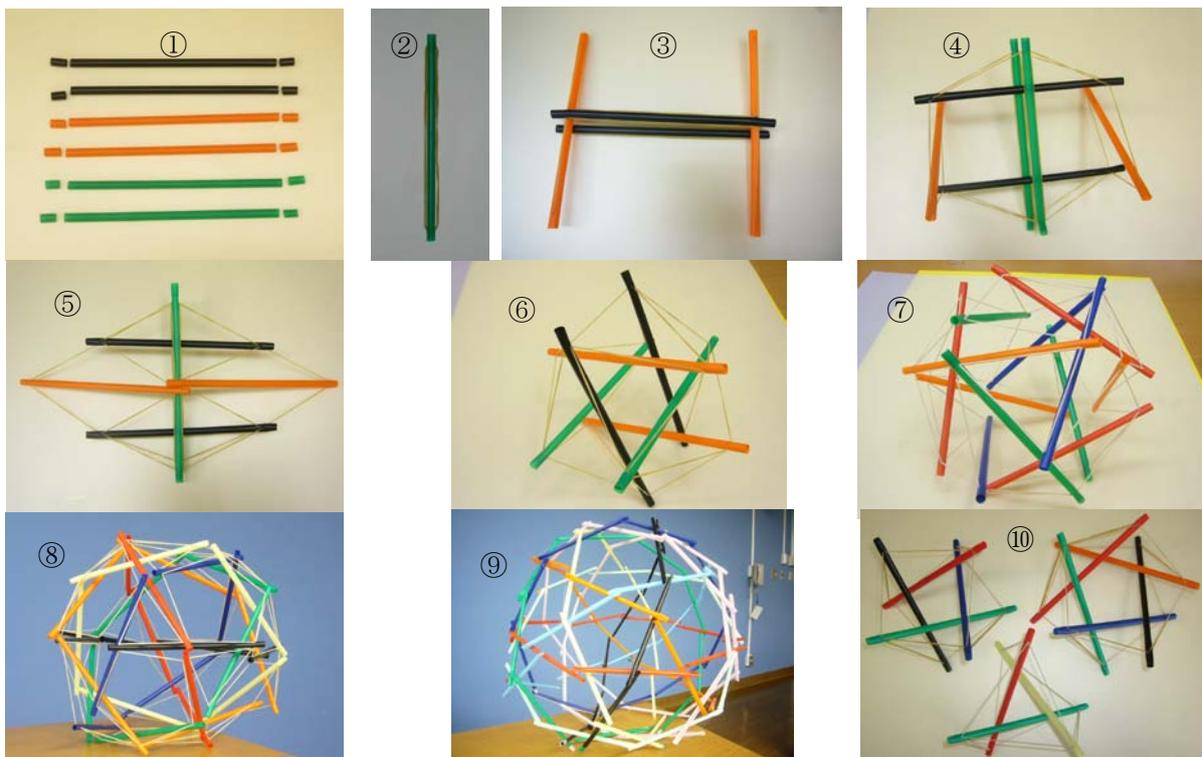
Abstract: The method of forming tensegrity using straw and rubber band is shown.**Keywords:** tensegrity, straw, rubber band

Tension と integrity の造形物 tensegrity をストローと輪ゴムを用いて簡単に作ってみよう。

例として、6本のストローを用いた正二十面体型テンセグリティの作り方を紹介する。

- ① 6本のストローの両端を1cmずつカットする。カットした部分はキャップとなる。
- ② 各ストローの両端に切れ目を入れて、輪ゴムをかける。
- ③ 平行な2本のストローの間に別の2本のストローを入れてHの形にする。ゴムをひっかけたところにキャップをかぶせる(以下同様)。
- ④ さらに別の2本を縦方向に入れる。
- ⑤ 余ったゴムを端にかけていく。⑥完成

いろいろの本数のテンセグリティ⑦12本 ⑧30本 ⑨90本 ⑩3本, 4本, 5本



絞りの展示

中村健蔵

MathArt作家 静岡県駿東郡小山町須走27-3-14-201 〒410-1431

E-mail:SI4K-NKMR@asahi-net.or.jp

前回、発表した絞り染めについて制作して頂いたので、その作品とその製作過程を解説・展示する。

The display of Shibori dying.

At previous symposium I talked about potential of Shibori dying, and I had collaborated with to make a pattern of Shibori dying. I'd like to display the work of Shibori dying.

1 はじめに

前回の発表で、絞りの幾何学的なデザインの可能性について検討し、これらのデザインを共同作成したので、作品とその製作過程について解説・展示する。

2 絞り方の解説

今回の作成に使用した絞り方は帽子絞りと呼ばれるものである。この絞り方を図1に示す。絞る前には、図案に従い下図を描き、それに沿って絞るために縁をかがるように裁縫を行い、ビニールを取り付けながら絞る。このビニールを帽子と呼ぶので、この名前がついた。



図1：絞り方

3 まとめ：作品について

図2が今回作成した絞りである。黄土色と空色で2回染色し、地が美しい柳色になっている。絞りは半径7cmの円を3段に充填配置したものを2回の染色ごとに入れ違いに行ったものである。円を多用した、これまでにないパターンとなっている。



図2：作成した絞り

参考文献等：1 作品の作成：片山文三郎商店

<http://bunzaburo.com/>

〒604-8151 京都市中京区橋弁慶町221番地 TEL075-221-2666

2 「Mathematicaで絵を描こう」中村健蔵 東京電機大学出版局 1998

事務局からのニュースメール

本記事は形の科学会ニュースメールの内容抜粋です。(問合せ:事務局松浦執 shumats0@gmail.com)

2011年5月26日

○第71回形の科学シンポジウム 千葉市科学館会場
につきまして

第71回形の科学シンポジウムの2日目は千葉市科学館が会場です。

6月18日(土)千葉市科学館アクセス

<http://www.kagakukanq.com/guide/index.html#e>

科学館のご好意により、当日、講演会参加者は、常設展示も追加料金なしで見学できるようになりました。(ただしプラネタリウムを除く)

また、学会講演会とは別に、会員による科学館展示と一般向けワークショップ企画があります。これから科学館から小学校などに広報されるそうです。

なお、科学館館内は、飲食コーナー以外での飲食は禁じられております。講演会場内も飲食できません。科学館内では、レストランや自販機コーナーなどをご利用ください。

2011年5月26日

○形の科学会が協賛する第13回日本感性工学会大会のご案内

形の科学会は、例年、日本感性工学会の大会に協賛しています。形の科学会会員は、日本感性工学会会員と同等の参加費で参加することができます。

第13回日本感性工学会大会

期間:2011年9月3日(土) - 2011年9月5日(月)
会場:工学院大学 新宿キャンパス〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2

<http://www.kogakuin.ac.jp/map/shinjuku/>

大会テーマ:「製品と感性工学」

参加費等詳細は次のページをご覧ください。

<http://www.jske.org/taikai/5>

参加事前登録および振込は2011年8月5日(金)まで。

2011年5月21日

○日本第四紀学会が、学会誌「第四紀研究」の地学教育別冊号を刊行

形の科学会が加入している日本地球惑星科学連合に、同じく加入している日本第四紀学会からのお知らせです。日本第四紀学会では、学会誌「第四紀研究」の地学教育別冊号を刊行いたしました。約200ページで、1冊1,000円で一般に販売しております。

その目次は以下のURLのようになります。

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/qr/news3/special50-index.html>

購入につきましては日本第四紀学会事務局へ直接連絡下さい(メール/FAXでお願いします)

〒169-0072 新宿区大久保2丁目4番地12号 新宿ラムダックスビル10階

日本第四紀学会事務局

E-mail:daiyonki@shunkosha.com

TEL:03-5291-6231/Fax:03-5291-2176.

2011年4月30日

本会が加盟している横幹連合からニュースレター発行のお知らせです。

■□■横幹連合ニュースレター 2011年4月号
(No.25) ■□■

1 ●巻頭メッセージ

◆実問題に求められる異分野知識の統合利用……平井成興 横幹連合理事(千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター副所長)

筆者の専門分野はロボット工学であるが、一時期人工知能の分野で仕事をしたことがある。どちらも総合的な知識とその利用法が要求される分野であるのだが、その経験は、最近行われた「第29回横幹技術フォーラム」の企画を立てるにあたって、少なからず役に立った。

特にロボット工学は、ロボットを「作る」ための知識や技術に加えて、ロボットを「使う」ための知識や技術が必要で、そのどちらにおいても、他の分野の知識や技術の統合的利用が、幅広く要求される。とはいっても、それらを漫然と寄せ集めたとしても意味が無く、ロボットが、与えられた仕事や与えられた課題解決を行うために必要な、さまざまな知識を効果的に連携させることによって、初めて統合的利用が可能になると考えられる。ここでは、この点を、もう少し細かく述べておきたい。

基礎分野と応用分野との体系的な違いは、ロボットの分野に限ったものではないのだが、特にロボット分野で顕著となるようである。というのも、ロボットあるいはロボットシステムに与えられる仕事や課題自体は、いわゆるロボット工学の体系の中の事物ではなく、広く社会一般、産業から家庭まで、ありとあらゆる事物が多様多様に含まれたものであるのが通常だからである。多種の事物が多様な形で含まれており、そこにロボットを使うことがまた、さまざまな作用を及ぼす、というきわめて複雑なシステムが、どのように振る舞うかを分析したり、このシステムの上で所与の目的を達成するための手順を計画するとき、まさに専門分野を超えた、知識の「統合的活用」が求められるのだ。

==>>続きはこちら

<http://www.trafst.jp/news.html#message>

2 ●活動紹介

【活動紹介】第29回横幹技術フォーラム「知の新しい活用法を求めて～実践と理論の連携～」(1月19日)最初に、桑原洋横幹技術協議会会長より、次のような挨拶があった。

「今回のテーマも、われわれに大きな思考を要求しており、日本が戦後の歴史の中で実証してきた人工物の

開発力を、どう評価し、議論してゆくかということに係わるものである。・・・人工物がかなりのポジションを占めている現在では、横幹的な知(知の統合と活用)が、双方から議論されて、それぞれの理解が高まってゆくということを、むしろ期待したい。」

続いて、総合司会の平井成興氏(千葉工業大学)から、今回の狙いが紹介された。

「知の新しい活用法」の一つである産業応用ロボットの研究が、実はほとんど産業に結びついていないという現状がある。医工連携や農業などの分野で、ロボットに関心を持った企業との共同研究などを行った経験があるが、そのときに感じられたことは、先ず、それぞれの専門用語の体系に大きな隔りがあり、ロボットの専門家(場合によっては、過剰な専門家)は、医療や介護の用語や、農業の用語に拒否反応を示す場合すらあるのだ、という。

・・・そこで今回は、知識の視野を広げることによって、デジタルヒューマン工学や生活機能構成学という新しい知の実践的な知識を、実際に、役に立つ形で社会に返してゆこうとされておられる産業技術総合研究所(産総研)の西田佳史氏、松本吉央氏に講演をお願いしたという。また、平井氏が知識工学を研究されたときの経験からは、オントロジーという「言葉の定義」から始まる高い領域共通性、分野独立性を意識した実践的な知識の使い方、ロボットの産業化における機能概念が明確になることが期待された。そこで、この分野で、哲学的かつ実践的・工学的な研究を進められる溝口理一郎氏(大阪大学)に講演をお願いした、と述べた。このような新しい知の活用を通して、例えば、育児や介護の経験を、バーチャルリアリティやロボット工学に結びつけることができ、全く新しい産業分野が拓ける可能性を感じているという。=>>続きはこちら

<http://www.trafst.jp/nl/025/report.html>

2011年11月28~29日

第4回横幹連合コンファレンス「21世紀のイノベーション創出に向けた知の創造」

主催：横幹連合

会場：石川ハイテク交流センター

<http://www.trafst.jp/conf2011/index.html>

横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)池田理香 Transdisciplinary Federation of Science and Technology

事務局 e-mail: office@trafst.jp tel&fax: 03-3814-4130 ホームページ: <http://www.trafst.jp/>
所在地: 東京都文京区本郷1-35-28-303 〒113-0033 (公益社団法人)計測自動制御学会 事務局内

2011年4月19日

○Scipress web サイト上にある e-Library, 画像データなど FORMA の出版でお世話になっている Scipress の web サイト (Forma が掲載されているサイト) 上の次の URL に e-Library が公開されています。

<http://www.scipress.org/e-library/index.html>

この中で、Flow Visualization

<http://www.scipress.org/e-library/fv/index.html>

は流れの可視化で、高解像度の貴重な画像を閲覧することができます。ぜひ一度ごらんください。

2011年4月16日

○東日本大震災で被災された皆様には、こころよりお見舞い申し上げます。形の学会としても横断的な研究活動の推進を通じて、これからのために何らかの貢献ができればと思います。皆様のお知恵をお貸しください。

さて、6月17日(金) - 19日(日)の千葉大学および千葉市科学会での第71回形の科学シンポジウムは、予定通り開催いたします。

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/form/sympo71th/sympo71th.htm>

講演申込締め切りが来週金曜に迫っておりますので、この機会にご講演、展示出展をご検討ください。

【講演申込締切日】 2011年4月22日(金)

【予稿原稿提出締切日】 2011年5月6日(金)

【参加申込締切日】 2011年6月10日(金)

お申し込みは上のシンポジウム web ページをご参照ください。今回は、18日(土)のみ千葉市科学館が会場となります。18日は、6件の招待講演を中心としたプログラムになります。そのため、18日土曜日は、全ての講演を公開とし、科学館に入場された一般の方も無料で聴講できるようにいたします。招待講演以外の、会員による一般講演につきましても、市民への公開となりますので、土曜日だけは一般の方にも理解していただけるようなご発表を選ばせていただくことになりそうです。ご希望がありましたらぜひ世話人宛ご連絡ください。

展示出展は、すでに進められている企画展以外は、千葉大会場での展示となります。

参加費につきまして。参加費をいただければ千葉市科学館の入場料は無料となります(ただし、科学館の一般の展示物をご覧になるためには、科学館の展示物をご覧になるためには、科学館の入場料をお支払いいただく必要があります)。従いまして、17日金曜からご参加の方は、千葉大会場で参加費をご納入いただき、18日の千葉市科学館は参加証を提示することで無料入場できます。18日土曜からご参加の方は、千葉市科学館入場口にブースを設けて、シンポジウム参加費をご納入いただくことで科学館に入場できます。

世話人連絡先は以下のとおりです。

【申込先 問合せ先】代表世話人 植田毅
〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-3 千葉大学総合メディア基盤センター Tel&Fax: 043-290-3546
E-mail: ueta@faculty.chiba-u.jp

年度をまたいでしまいましたが、会誌25巻第3号をお届けできたと思います。第70回シンポジウムでは、初めて、高等学校を会場として高校生に力をかりてシンポジウムを開催しました。これについて会誌第3号に世話人の川勝先生の寄稿をいただくことができ、本会のありかた、高校での学会開催ということに関して貴重なご議論をいただきました。

○新入会の皆様(敬称略)

佐藤 幸一 (元) 慈恵医科大

○新入会の皆様のご紹介(敬称略)

このコーナーでは, 交流の促進を目的として, 新入会の皆様の「主要研究分野」(A と略記)と「形の興味」(B と略記), もしくは, お寄せいただいたご自身によるプロフィール記事(Cと略記)を掲載します.

佐藤 幸一

A: 医療情報学の入門教育、生物物理学

B: 形態形成

○流れの画像データベースのご案内

FORMA を出版している Scipress の web サイト(Forma が掲載されているサイト)上の次の URL に e-Library が公開されています。

<http://www.scipress.org/e-library/index.html>

この中の、“Flow Visualization”

<http://www.scipress.org/e-library/fv/index.html>

は流れを可視化した高解像度の貴重な画像です。ぜひ一度ごらんください。

○平成 22 年度をもって御退会の皆様

東 恒人	岡山理科大学 工学部 情報工学科
奥村 博	前橋工科大学 工学部
影山 哲男	京都府立医科大学 生物学教室
中村 真理子	岡山大学歯学部矯正学講座
蛭子井 博孝	卵形線研究センター
吉野 進也	帝京大学附属放射線学校
小野里 雅彦	北海道大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻
松田 昂	足利工業大学 共通課程
尾高 賢治	株式会社 川島織物セルコン 研究開発部
新田 順子	

形の科学会誌の原稿募集

本誌は、"かたち"に関連した研究を促進するため、high quality な論文の発表、及び、できるかぎり自由に意見を発表できかつ討論できる場を提供することを目的として、原稿を募集しています。

原著論文 (original paper)、解説論文 (review paper)、速報 (rapid communications)、討論 (commentary)、講座 (単発および連載)、エッセイ、交流、ニュースなどを掲載し、形の科学会の会員は本誌に投稿することができます。本誌に投稿された論文 (original paper, review paper) は、査読過程を経てから掲載することを原則とします。また、速報、討論、講座、エッセイ、交流、ニュースなどに関しては、より自由な発表場所を提供することを旨とし査読過程を経ずに掲載しますが、編集委員会で掲載が不適当であると判断された場合は、改訂を求めること、あるいは掲載をお断りすることがあります。

本誌の論文を論文中で引用される時は、日本語論文の場合は、形の科学会誌、11、(1997)、1-2. 欧文論文の場合は、Bulletin of Society for Science on Form, 11, (1997), 1-2. というように引用してください。

本誌は、シンポジウムの予稿原稿も掲載しています。本誌のシンポジウム要旨を論文中で引用される時は、形の科学会誌、12、(1997)、1-2 (シンポジウム要旨)、欧文論文の場合は、Bulletin of Society for Science on Form, 12, (1997), 1-2 (Extended Abstract of 39th symposium). というように引用してください。

『形の科学会誌』論文投稿の案内

1 Editorial Board

編集委員長 (Chief Editor)	平田隆幸	
副編集委員長 (Sub-chief Editor)	清水祐樹	(物理学・地球惑星科学)
編集委員 (Editor)	高木隆司	(物理・美術)
	渡辺泰成	(数学・幾何学)
	種村正美	(数学・幾何学)
	本多久夫	(生物)
	鳥脇純一郎	(工学)
	宮本 潔	(医学)

2 原稿投稿先

形の科学会誌への投稿論文 (original paper, review paper, 講義ノートなど) の宛て先は、編集委員長・副編集委員長・編集委員とする (宛先は下記参照)。

平田隆幸 910-8507 福井市文京 3-9-1, 福井大学 工学部 知能システム工学科

Phone: 0776-27-8778, Fax: 0776-27-8420, Email: d970062@icpc00.icpc.fukui-u.ac.jp

清水祐樹 480-1195 愛知郡長久手町岩作雁又 21, 愛知医科大学 医学部 生理学第 2 講座

Phone: 0561-62-3311(内 2212), Fax: 0561-63-9809, Email: yuuki@aichi-med-u.ac.jp

高木隆司 192-0371 八王子市南陽台 3-3-13

Phone: 042-675-0222, Fax: 042-675-0222, Email: jr.takaki@iris.ocn.ac.jp

渡辺泰成 290-0171 市原市潤井戸字大谷 2289-23, 帝京平成大学 情報システム学科

Phone: 0436-74-5979, Fax: 0436-74-3659, Email: watanabe@cn.thu.ac.jp

種村正美 233-0002 横浜市港南区上大岡西 3-5-3-307

Phone: 03-3446-1501, Fax: 03-3446-1695, Email: tanemura@ism.ac.jp

本多久夫 675-0101 加古川市平岡町新在家 2301, 兵庫大学 健康科学部

Phone: 0794-24-0052, Fax: 0794-26-2365, Email: hihonda@hyogo-dai.ac.jp

鳥脇純一郎 470-0393 豊田市貝津町床立 101, 中京大学 生命システム工学部 身体システム工学科

Phone: 0565-46-6633, Fax: 0565-46-1299, Email: jtoriwak@life.chukyo-u.ac.jp

宮本潔 321-0207 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880, 独協医科大学 総合研究施設

Phone: 0282-87-2271, Fax: 0282-86-5678, Email: miyamoto@dokkyomed.ac.jp

3 投稿論文の処理過程

1) 編集委員は、投稿論文を受け取った時点で、論文の種類・受付日を付加してオリジナル原稿1部を副編集委員長に送る。

2) 編集委員は、original paper, review paper に関しては、査読者1名を決めて依頼し、修正等の過程を経て受理決定をおこなう。受理原稿は、受理日をつけて副編集委員長に送る。

3) 編集委員が却下 (reject) と判断した論文は、編集委員が、意義申立をする権利があることを付記して著者に返却する。再投稿された論文は、元の、あるいは新たな査読者に依頼し、同様に受理・却下を決定する。その結果として却下の場合は、編集委員は書類一切を編集委員長、および(必要な部分をコピーして)副編集委員長へ送る。編集委員長がその後の処理を決める。

4) 編集委員に送られた論文が、自分の専門分野外と判断された場合は、副編集委員長に論文を転送する。副編集委員長は、もっとも適当な編集委員に論文を転送する。(しかし、形の科学の広い立場から、なるべく査読を引き受けてください)

5) 査読を必要としないもの(エッセイ、交流等)に関しては、別に査読者を決めず、編集委員の判断で著者に修正を依頼したり、受理の決定をする。受理原稿は、副編集委員長に送る。なお、編集委員が、形の科学会誌の原稿として不相当であると判断した場合は、original paper, review paper の処理に準じて、編集委員長がその後の処理を決める。また、シンポジウム予稿原稿もこれに準じる。

6) 副編集委員長は、各号の内容の編集をおこなう。

7) 当面、受理原稿の掲載号は次のように決める。原稿が、次回の形の科学シンポジウム開催日の1ヶ月前までに副編集委員長に届けば、会誌の次号に掲載する。なお、著者の特別な申し出がないかぎり、原稿の著作権は形の科学会に帰属するものとする。

原稿作成要領

オリジナル原稿、およびコピー原稿2部の計3部を投稿してください。写真製版可能な原稿のみを受け付けます。投稿された原稿はそのまま印刷されますので、以下の点に注意してください。

1) 上下左右それぞれ約2.5 cmのマージンを残す。

2) 1頁40-45行程度、1行40字程度。原著論文、解説論文等は刷り上がり10頁、速報は刷り上がり4頁以内を原則とします。

3) 図や表は、本文中に張り込み、図の下に必ずキャプションを付けてください。

4) 最初の頁には、タイトル、氏名・所属(できれば電子メールアドレスも)・英文 Keywords (5個以内)をお書きください。英文のタイトルおよび所属を併記してください。独立した英文の abstract をつけることを歓迎します。

5) タイトル、氏名・所属と本文の間(英文 abstract がある場合は英文 abstract の前)には、受付日と受理日を印刷するため、上下2.0 cmのスペースを開けてください。

6) 引用文献は、本文の最後に「文献」という見出しとともに出現順に記してください。

7) ページ番号は印刷せず、原稿の右上に鉛筆で1から通し番号をつけてください。

8) 以上の作成要領と大きく異なる場合は、改訂をお願いすることがあります。

入 会 案 内

会員の特典

- 形の科学会員は、形の科学会誌および論文誌 **FORMA** の配布をうけ、それらに投稿することができます。
(FORMA への投稿は会員以外でもできます)
- シンポジウムの開催案内をうけ、講演の申し込みができます。
- 画像データベース等、情報の配布を受けることができます。
- **賛助会員**については、正会員と同じ権利を持ち、かつ、賛助会員年会費を支払っていれば、その1年間は会誌に無料で広告を掲載できます。
- **団体会員**は学会出版物を定期購読でき、シンポジウムの案内などの学会からの通知を受け取ることができます。団体の連絡担当者を1名決めていただきます。
本会の刊行物の定期購読を希望する団体(企業、研究所、研究室、その他)は、団体会員として登録することを勧めます。

形の科学会への入会

- 入会資格は、形の科学研究に興味を持つことです。
- 会員登録カードに必要事項を記入し、会長または事務局あてお送りください。(形の科学会誌に綴じ込んであります。必要な方は会長または事務局へご請求ください)
- 入会に際しては、下記の年会費をお支払いください。入金後、会員の登録をいたします。
- 賛助会員、団体会員についても、同様の入会手続き、ならびに会費の送金をしてください。
- 現住所、所属機関等、登録カードの記載事項に変更があった場合は、ただちに書面でご連絡下さい。
- 会員の個人情報、会員の交流および研究を促進する活動のために事務局が連絡先として用います。

会費

- **正会員** 8,000 円/年
- **学生会員**(学生およびそれに準ずる者) 4,000 円/年(学生証のコピーを同封のこと)
- **賛助会員** 38,000 円/年
- **団体会員** 10,000 円/年

下記の口座に最寄りの郵便局からご送金ください。

- 口座番号： 00330-9-30953
- 加入者名： 形の科学会



会 員 登 録 カ ー ド (記入： 年 月 日)

会員記号番号： _____ 会員状態： _____ 会費： _____

フリガナ： _____ 生年月：西暦 年 月

氏 名： _____ 連絡先選択： 勤務先 自宅 出張先

勤務先： _____

〒： _____ 宛先： _____

電話： _____ FAX： _____

E-mail： _____

自宅 〒： _____ 宛先： _____

電話： _____ FAX： _____

主要活動分野 (20字以内)： _____

形関係の興味 (個条書き, 各20字以内)： _____

備考 (出張先宛て先、etc.)

複写権委託済み表示の変更(2009年11月20日)

形の科学会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会により許諾を受けてください。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
FAX : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。直接、形の科学会へお問い合わせください。

形の科学会誌 Vol. 26 No. 1 (2011, 6月)

発行： 形の科学会

会長： 松岡 篤

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050

新潟大学理学部地質科学教室

phone/fax : 025-262-6376

E-mail : matsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

編集委員長：平田隆幸

〒910-8507 福井市文京3-9-1 福井大学工学部

phone : 0776-27-8778 fax : 0776-27-8420

E-mail : d970062@icpc00.icpc.fukui-u.ac.jp

副編集委員長&編集事務局：清水祐樹

〒480-1195 愛知郡長久手町岩作雁又21

愛知医科大学医学部 生理学第2講座

phone : 0561-62-3311 (内線2212) fax : 0561-63-9809

E-mail : yuuki@aichi-med-u.ac.jp